

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS PARA
CARACTERÍSTICAS LIGADAS AO CONSUMO E À
EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM BOVINOS DA
RAÇA SENEPOL**

Gabriel de Moraes Pereira

**CAMPO GRANDE, MS
2020**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS PARA
CARACTERÍSTICAS LIGADAS AO CONSUMO E À
EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA EM BOVINOS DA RAÇA
SENEPOL**

Gabriel de Moraes Pereira

Orientador: Profa. Dra. Andréa Alves do Egito

Coorientador: Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul, como requisito à obtenção do
título de Mestre em Ciência Animal.
Área de concentração: Produção
Animal.

**CAMPO GRANDE, MS
2020**

Certificado de aprovação

Gabriel de Moraes Pereira

Parâmetros genéticos e fenotípicos para características ligadas ao consumo e à eficiência no uso da água em bovinos da raça Senepol

Genetic and phenotypic parameters for traits related to efficiency in water use and intake in Senepol cattle

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Mato Grosso
do Sul, como requisito à obtenção do
título de Mestre em Ciência Animal.

Aprovado(a) em: 07-02-2020

BANCA EXAMINADORA:



Dra. Andréa Alves do Egito
Orientadora (EMBRAPA)



Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes
(EMBRAPA)



Dr. Roberto A. de Almeida Torres Junior
(EMBRAPA)



Dr. Rodrigo da Costa Gomes
(EMBRAPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela oportunidade da vida, sustentando o caminho para as minhas realizações.

Aos meus familiares que me apoiaram para a formação acadêmica, em especial ao meu pai Rozevaldo e minha mãe Élide, por todo o apoio, carinho, esforço e oportunidades que me proporcionaram.

À minha noiva Gabriela pelo incentivo, carinho, amor e pelo apoio em todas as etapas necessárias para a conclusão deste trabalho.

Agradeço em especial à minha professora orientadora Dra. Andréa Alves do Egito, pela paciência, orientação e confiança depositada, que sempre me auxiliou na elaboração deste trabalho. E ao meu coorientador Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes, por todas as oportunidades que me proporcionou, pelos ensinamentos por ele concedidos nesse período na Embrapa Gado de Corte, me mostrando direções para elaboração desta dissertação.

Aos mestres que se dedicaram em lecionar os conteúdos da produção animal, transmitindo com prazer sua sabedoria, tanto os professores e funcionários da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, como os funcionários da Embrapa Gado de Corte.

Aos meus colegas e amigos da universidade e da vida pessoal, que também me auxiliam nas reflexões das dificuldades e positivities do dia a dia.

Àqueles que fomentaram a pesquisa e possibilitaram que o trabalho fosse desenvolvido, à CAPES pela fonte de financiamento código 001, a empresa Embrapa Gado de Corte pela oportunidade e viabilização dos recursos e infraestrutura sem os quais este trabalho não seria realizado, enfatizando a consciência social da empresa, incentivando a pesquisa, desenvolvimento e disseminação de tecnologias de produção.

Ao programa Geneplus-Embrapa, a Associação Brasileira dos Criadores de Bovinos Senepol, ao Dr. José Antônio Fernandes Junior da fazenda Santo Antônio da Grama e ao Dr. Marcelo Neves Ribas da empresa Intergado® por disponibilizarem os dados para elaboração deste trabalho.

Àqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, a minha eterna gratidão! Muito Obrigado!

“Faça o seu melhor na condição que você tem, enquanto você não tem condições melhores para fazer melhor ainda”. (Mário Sergio Cortella)

Resumo

PEREIRA, G.M. **Parâmetros genéticos e fenotípicos para características ligadas ao consumo e à eficiência no uso da água em bovinos da raça Senepol**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2020.

A sustentabilidade da produção de carne bovina exige a identificação e a seleção de animais eficientes que possam produzir mais produtos com menos insumos. A água tem sido tradicionalmente considerada um recurso natural de baixo custo, prontamente disponível e renovável. No entanto, as crescentes preocupações sobre a sustentabilidade produtiva, incluindo a disponibilidade de água potável, têm pressionado cada vez mais o setor agropecuário, especialmente a pecuária. Assim, parâmetros genéticos e fenotípicos foram estimados para características ligadas ao consumo e eficiência no uso de água em bovinos da raça Senepol, a fim de avaliar seu uso como critério de seleção. Foram utilizados novilhas ($n=1.072$) e touros ($n=209$) da raça Senepol, envolvidos em testes de desempenho em confinamento de 2014 a 2018, que tinham acesso a 48 cochos e 12 bebedouros eletrônicos (Intergado® Ltd.) para coleta de registros individuais diários de consumo alimentar e hídrico, respectivamente. As características estudadas incluíram o consumo de água diário individual médio (CH), consumo de matéria seca diário individual médio (CMS), ganho de peso diário médio (GMD), consumo hídrico residual estimado utilizando o GMD (CHR_{GMD}), consumo hídrico residual estimado utilizando o CMS (CHR_{CMS}), conversão hídrica (CONVH), eficiência hídrica (EH), consumo alimentar residual (CAR), conversão alimentar (CA), eficiência alimentar (EA) e peso corporal metabólico médio (PM). As (co)variâncias genéticas foram estimadas usando modelos animais bi-característicos e o software GIBBS2F90. CH, CHR_{GMD} e CHR_{CMS} foram as características de consumo e eficiência hídrica que apresentaram os maiores valores de herdabilidade (0,38; 0,36 e 0,33, respectivamente). As medidas de CHR_{GMD} , CHR_{CMS} e CONVH apresentaram correlações genéticas e fenotípicas positivas com o CH, e a EH apresentou correlações negativas com o CH, demonstrando que todas as medidas de eficiência hídrica são capazes de reduzir a quantidade de água consumida pelos bovinos. O CH apresentou correlação positiva com o CMS ($r_g = 0,79$ e $r_p = 0,60$), sugerindo que o consumo de água pode ser utilizado para estimar o consumo de

alimento em futuras pesquisas. Tanto o CHR_{GMD} quanto o CHR_{CMS} foram geneticamente correlacionados com o CAR (0,67 e 0,57, respectivamente), e geneticamente correlacionados com o GMD (0,49 e 0,44, respectivamente), o que demonstra que o consumo hídrico residual pode ter efeito positivo sobre a eficiência alimentar, porém pode apresentar efeito negativo sobre o desempenho, que pode ser corrigido através de índices de seleção. O melhoramento genético para a eficiência hídrica em bovinos Senepol pode ser alcançado através da seleção. Ao selecionar para a eficiência hídrica se reduz o consumo de água em bovinos de corte. O consumo hídrico pode ser utilizado para estimação do consumo alimentar em futuras pesquisas.

Palavras-chave: consumo hídrico residual, correlação, herdabilidade, recursos hídricos, sustentabilidade na pecuária

Abstract

PEREIRA, G.M. **Genetic and phenotypic parameters for traits related to efficiency in water use and intake in Senepol cattle**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2020.

The sustainability of beef production requires the identification and selection of efficient animals that can produce more products with less inputs. Water has been traditionally considered an inexpensive, readily available and renewable natural resource. However, growing concerns about sustainable production, including the availability of drinkable water, have increasingly put pressure on livestock production, especially cattle. Thus, genetic and phenotypic parameters were estimated for traits related to water intake and water use efficiency in Senepol cattle, in order to evaluate their use as a selection criteria. Senepol heifers ($n = 1,072$) and bulls ($n = 209$) that were involved in feedlot performance tests between the years 2014 and 2018, which had access to 48 electronic feed bunks and 12 electronic water bunks (Intergado® Ltd.) were used to collect individual daily records of feed and water intake, respectively. The characteristics studied included individual average daily water intake (WI), individual average daily dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), residual water intake calculated from ADG (RWI_{ADG}), residual water intake calculated from DMI (RWI_{DMI}), water to gain ratio (W/G), gain to water ratio (G/W), residual feed intake (RFI), feed to gain ratio (F/G), gain to feed ratio (G/F) and metabolic body weight (MW). Genetic (co)variances were estimated using bi-characteristic animal models and GIBBS2F90 software. WI, RWI_{ADG} and RWI_{DMI} were the traits of water intake and water efficiency that had the highest heritability values (0.38; 0.36 and 0.33, respectively). RWI_{ADG} , RWI_{DMI} and W/G showed positive genetic and phenotypic correlations with WI, and G/W showed negative correlations with WI, demonstrating that all water efficiency measures are capable of reducing the amount of water consumed by cattle. The WI showed a positive correlation with the DMI ($r_g = 0.79$ and $r_p = 0.60$), suggesting that water intake can be used to estimate food intake in future research. Both RWI_{ADG} and RWI_{DMI} were genetically correlated with RFI (0.67 and 0.57, respectively), and genetically correlated with ADG (0.49 and 0.44, respectively), which demonstrates that

residual water intake can have a positive effect on feed efficiency, but it can have a negative effect on performance, which can be adjusted through selection indexes. Genetic improvement for water efficiency in Senepol cattle can be achieved through selection. When selecting for water efficiency, the water intake in beef cattle is reduced. Water intake can be used to estimate food intake in future research.

Keywords: correlation, heritability, residual water intake, sustainability in livestock, water resources

Lista de abreviaturas e siglas

ABCB Senepol	Associação Brasileira de Criadores de Bovinos Senepol
ASBIA	Associação Brasileira de Inseminação Artificial
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CA	Conversão Alimentar
CAR	Consumo Alimentar Residual
CH	Consumo de Água Diário Individual Médio
CHR _{CMS}	Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o CMS
CHR _{GMD}	Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o GMD
CMS	Consumo de Matéria Seca Diário Individual Médio
CONVH	Conversão Hídrica
EA	Eficiência Alimentar
EH	Eficiência Hídrica
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GMD	Ganho de Peso Diário Médio
GC	Grupo de Contemporâneos
PM	Peso Corporal Metabólico Médio
RFID	<i>Radio-Frequency Identification</i>
r_g	Correlação Genética
r_p	Correlação Fenotípica
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA	14
Água na pecuária	15
Consumo de água	18
Senepol – raça taurina adaptada aos trópicos	22
Parâmetros genéticos	23
<i>Herdabilidade</i>	<i>23</i>
<i>Correlação genética e fenotípica</i>	<i>25</i>
Considerações finais	27
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2: ARTIGO	33
Resumo	33
Abstract	35
Implicações	36
Introdução	37
Material e Métodos	38
<i>Dados</i>	<i>39</i>
<i>Edição dos dados</i>	<i>41</i>
<i>Análises estatísticas</i>	<i>42</i>
Resultados	43
<i>Herdabilidades</i>	<i>43</i>

<i>Correlações genéticas e fenotípicas</i>	44
Discussão	46
<i>Herdabilidades</i>	46
<i>Correlações genéticas e fenotípicas</i>	49
Agradecimentos	56
Referências	56

INTRODUÇÃO

O aumento da produção de alimentos, para a crescente população humana, com recursos terrestres limitados exigirá maior eficiência de produção (BERRY e CROWLEY, 2013), sendo necessário identificar e selecionar animais eficientes que possam produzir mais produtos com menos insumos, visando aumentar a sustentabilidade na pecuária (AHLBERG, 2017).

Segundo Nardone *et al.* (2010), a segurança alimentar e hídrica será prioridade para a humanidade no século 21. Nesta perspectiva, adiciona-se ainda os efeitos indiretos do aquecimento global que podem prejudicar a produção animal, que incluem infertilidade do solo, escassez de água, diminuição da produção e da qualidade dos grãos e difusão de patógenos (NARDONE *et al.*, 2010).

Além disto, as médias globais para pegada hídrica da carne são bastantes elevadas, variando entre 15.415 e 15.497 (Mekonnen e Hoekstra 2012; Ran *et al.*, 2016). Estes valores de pegada hídrica da carne bovina são ainda muito superiores a outras fontes de proteína (Mekonnen e Hoekstra, 2012), tornando a eficiência na utilização da água, aliada à segurança alimentar, o principal objetivo para alcançar a sustentabilidade da pecuária (Nardone *et al.*, 2010).

Diante disto, a água tem sido considerada tradicionalmente como um recurso natural de baixo custo, prontamente disponível e renovável (BREW *et al.*, 2011). No entanto, com a crescente demanda por produtos animais nas próximas décadas, o equilíbrio entre a produtividade animal e o uso da água exigirá um esforço conjunto entre produtores, cientistas, agroindústrias e consumidores, para reduzir os riscos associados à demanda e escassez de água gerada por bovinos (PALHARES *et al.*, 2017). A eficiência da utilização da água aliada a eficiência produtiva será o principal objetivo para alcançar a sustentabilidade da pecuária (AHLBERG, 2017).

Existem na literatura poucos estudos sobre a ingestão individual diária de água por bovinos de corte (WINCHESTER e MORRIS, 1956; HICKS *et al.*, 1988; HANSEN *et al.*, 2007; ARIAS e MADER, 2011; BREW *et al.*, 2011; AHLBERG, 2018; MENEZES *et al.*, 2018; ZANETTI *et al.*, 2019), porém a maioria destes trabalhos se basearam em mensurar ingestão de água por média de lotes ou ainda por bovinos criados separadamente em cochos individuais, onde apenas Brew *et al.* (2011), Ahlberg (2018), Menezes *et al.* (2018) e Zanetti *et al.* (2019) coletaram o consumo de água individual nos bovinos utilizando bebedouros eletrônicos. Segundo Ahlberg (2017), a

ingestão de água com base em médias de lotes fornece uma estimativa aproximada da quantidade de água que cada animal consome, entretanto não é capaz de avaliar e explicar a variação entre os mesmos. Portanto, é crucial poder quantificar a variabilidade na ingestão individual de água, para poder tomar decisões de seleção e melhorar a eficiência hídrica, buscando diminuir a quantidade de água necessária para que os animais apresentem seu metabolismo normal.

Somado a isto, têm-se a crescente utilização de raças taurinas adaptadas em cruzamentos com zebuínos, com a finalidade de aumentar a produtividade e a qualidade de carne, porém mantendo a adaptabilidade a ambientes tropicais. Um bom exemplo que vem em crescimento nos últimos anos é a raça Senepol, que é classificada como uma raça taurina adaptada tropicalmente (FLORI *et al.*, 2012) e, desde a chegada dos primeiros animais no Brasil em 2000, a população aumentou consideravelmente em número e está entre umas das principais raças utilizadas no país para produção de carne (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

Entretanto, ainda existem diversas lacunas a serem preenchidas na avaliação de características de interesse em bovinos de corte, tais como o consumo e eficiência no uso da água. Destaca-se o papel da genética na expressão dessas características, havendo apenas dois estudos nessa temática até o momento na literatura mundial (MENEZES *et al.*, 2018; AHLBERG, 2018). Portanto, avaliar a variabilidade genética e fenotípica de características ligadas ao uso da água por bovinos, bem como as associações entre elas com características produtivas são importantes para subsidiar qualquer ação de melhoramento genético.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo estimar parâmetros genéticos e fenotípicos para características ligadas ao consumo e à eficiência no uso da água em bovinos da raça Senepol, a fim de avaliar seu uso como critério de seleção em programas de melhoramento. Desta maneira, é apresentada uma revisão de literatura sobre consumo e eficiência no uso de água em bovinos de corte e em seguida um artigo redigido de acordo com as normas do periódico *Animal*, da *Cambridge University Press*, intitulado como “Parâmetros genéticos para características ligadas ao uso da água em bovinos Senepol.”

CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA

A população mundial está em crescimento, sendo que a estimativa é que em 2050 o número de habitantes alcance 9,7 bilhões, equivalendo a um terço a mais de pessoas para serem alimentadas. Desta forma, será preciso que a produção de carne aumente mais de 200 milhões de toneladas por ano, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2017).

Esta maior demanda por necessidade de alimentos está acompanhado pelo aumento da demanda de produtos de origem agropecuária e pelo aumento da concorrência por recursos terrestres e hídricos, onde a segurança alimentar e hídrica serão prioridades para a humanidade, exigindo uma cadeia de produção mais eficiente (HAYES *et al.*, 2013). Neste mesmo período, o mundo estará passando por uma mudança que afetará o clima global e terá impacto na agricultura mundial (NARDONE *et al.*, 2010; AHLBERG, 2017). O aquecimento global poderá causar uma perda de até 25% na produção animal, tendo um maior impacto em países em desenvolvimento, sendo o pior cenário para África e algumas regiões da Ásia, onde a produção animal está baseada em sistemas extensivos de pastagens (SEGUIN *et al.*, 2008; NARDONE *et al.*, 2010).

De acordo com o *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), a escassez de água tem se tornado uma preocupação global, causando problemas na produção de alimentos, saúde humana e desenvolvimento da economia, afetando 1-2 bilhões de pessoas ao redor do mundo. Mendonça *et al.* (2017) relatam que a escassez hídrica em diversas regiões do globo têm impulsionado políticas públicas e tendências globais a demonstrar preocupação em buscar soluções para gerir este bem, com finalidade de garantir a sustentabilidade das gerações futuras. No Brasil, após o incremento da produção de energia elétrica para produção industrial durante o século XX, deram início as preocupações com a regulação do uso da água no país (MURTHA *et al.*, 2015).

Apesar do país estar em desenvolvimento crescente na produção de carne, de acordo com Euclides Filho (2013), é necessário que aconteçam melhorias nos processos de gestão e nos índices zootécnicos, a fim de garantir a permanência no mercado consumidor e sua competitividade com outros setores de produção. Além destas dificuldades, somam-se ainda a maior exigência dos consumidores, o

acirramento das disputas por mercado, as preocupações relacionadas ao bem-estar animal e as precauções com a conservação ambiental.

Devido à gradativa demanda pela carne e pela competitividade por área com outros sistemas de produção, se faz necessário investir em eficiência produtiva na bovinocultura de corte. Desta forma, novas pesquisas devem surgir com o intuito de melhorar a eficiência de produção, buscando produzir mais carne em menor tempo e área, com custo reduzido, oferecendo ainda mais empregos e diminuindo os impactos ambientais, principalmente em relação a eficiência no uso da água (ROSEGRANT *et al.*, 2007; VERONEZE *et al.*, 2016).

Água na pecuária

As crescentes preocupações com a disponibilidade de água têm forçado o setor agropecuário a determinar a quantidade de água utilizada pelos animais. De acordo com Thornton *et al.* (2009), a água doce representa apenas 2,5% de todos os recursos hídricos do mundo, e quase 70% desta água é inutilizável, estando armazenada nas geleiras. O setor agrícola é o maior usuário de água doce, representando cerca de 70% da utilização de água, isto ocorre, principalmente, devido ao aumento nas áreas de irrigação ao longo do último século (THORNTON *et al.*, 2009; RAN, 2010). De acordo com Mekonnen e Hoekstra (2012), os bovinos de corte são responsáveis por 33% da pegada hídrica global da produção animal.

Existe ainda uma grande preocupação com as mudanças climáticas, que a cada ano geram um impacto cada vez mais negativo na criação de bovinos. Diante disto, os bovinos podem precisar lidar com menor disponibilidade de água e aumento da temperatura ambiente, gerando desafios para a termoregulação. Existe uma diversidade de raças bovinas voltadas para produção de carne, onde alguns animais são mais tolerantes ao calor. De acordo com Nardone *et al.* (2010), animais mais gordos tendem a ser mais vulneráveis ao estresse calórico, devido ao aumento do peso corporal e espessura de gordura subcutânea. Outros dois fatores que podem reduzir a tolerância ao calor são a cobertura de pele extra e a coloração escura dos pelos, que absorve mais calor, elevando a temperatura basal (NARDONE *et al.*, 2010).

O estresse térmico é um dos principais contribuintes para a perda de produção na pecuária, o que é ainda maior durante a escassez de água e alimentos. Há muitas maneiras pelas quais os animais podem compensar o estresse térmico, sendo a água

de extrema importância em alguns dos mecanismos usados para o resfriamento corporal (AHLBERG, 2017).

Em geral, temperaturas entre 15 e 29°C não parecem afetar o desempenho de bovinos, permanecendo na zona de termoneutralidade, todavia, quando a temperatura supera a casa dos 30°C, há uma queda na ingestão de matéria seca, gerando uma redução do ganho médio diário e redução do peso de carcaça, com menor espessura de gordura e aumento da incidência de doenças (NARDONE *et al.*, 2010). Um dos meios para se atingir a zona de conforto térmico se dá através da água, onde os animais realizam troca de calor através da transpiração e respiração, reduzindo a temperatura corporal até atingir o conforto (SILANIKOVE, 2000).

Uma linha de pesquisa que vem crescendo nos últimos anos é a questão da pegada hídrica na produção de carne. De acordo com Hoekstra *et al.* (2011), esta abordagem da pegada hídrica fornece informações sobre a água consumida e o impacto do produto na quantidade e qualidade da água utilizada. O conceito da pegada hídrica foi introduzido como um indicador de apropriação de água doce, e tem como objetivo quantificar e mapear o uso direto e indireto da água a fim de demonstrar a relevância de envolver produtores e consumidores na gestão dos recursos hídricos (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Manzardo *et al.* (2014) enfatizaram a importância de aplicar a contabilidade da pegada hídrica para minimizar os efeitos locais nos recursos hídricos, como estresse e disponibilidade hídrica. De modo geral, para o cálculo da pegada hídrica, a água é dividida em três partes, sendo ela a verde, a azul e a cinza (HOEKSTRA *et al.*, 2011). A água verde consiste na água que é perdida no solo através da evapotranspiração das plantas, e é derivada diretamente das chuvas. Em tese, a água verde é aquela que é necessária para o crescimento das plantas e cultivos. Já a água azul representa a água superficial ou subterrânea que é retirada e não retorna ao seu local devido à evaporação ou à incorporação ao produto. A água azul está relacionada principalmente a água utilizada na irrigação ou a água consumida pelos animais. A água cinza é uma estimativa da quantidade de água necessária para diluir os poluentes, que pode variar dependendo do tipo e da concentração do poluente (HOEKSTRA *et al.*, 2011; DOREAU *et al.*, 2012; RAN *et al.*, 2016).

As médias globais para pegada hídrica da carne são relatadas por Ran *et al.* (2016) e apresentaram variações de 15.415 a 15.497 litros de água por quilo de carne

produzida, levando em consideração as estimativas de água verde, azul e cinza. Mekonnen e Hoekstra (2012) relataram que o modo de produção influencia na quantidade de água utilizada, sendo o sistema extensivo o que apresentou a maior faixa de variação (16.353 a 26.155 L/kg de carne), seguido pelo sistema semi-intensivo (11.744 a 16.869 L/kg de carne). A produção em sistemas intensivos demonstraram o menor valor de pegada hídrica, variando de 3856 a 13.089 L/kg de carne produzido (MEKONNEN e HOEKSTRA, 2012).

Palhares *et al.* (2017) avaliaram a pegada hídrica de 17 fazendas do Sudeste brasileiro, e relataram uma variação de 1.935 a 9.673 L/kg de carne, com uma média de 5.814 L/kg de carne. Os resultados demonstram grande variabilidade na pegada hídrica que pode existir de fazenda para fazenda, onde a água verde representou cerca de 84,5% do total e a água azul 15,5%. A água cinza não foi considerada no estudo de Palhares *et al.* (2017).

Apesar de grande variação entre os estudos que avaliaram a pegada hídrica da carne, estas estimativas confirmam a importância de buscar a gestão dos recursos hídricos na produção de carne bovina. Entretanto, a maioria das pesquisas tem como foco principal a redução da água verde, ou seja, a água proveniente das chuvas que é utilizada pelas plantas (RAN *et al.*, 2016; PALHARES *et al.*, 2017). Já a água azul tem sido pouco trabalhada em estudos que buscam a redução da pegada hídrica da carne. Apesar de apresentarem uma menor parte do total da água incorporada ao produto final, a água azul é a que apresenta o maior risco em relação à escassez hídrica, pois grande parte dela não retorna ao seu local de origem (BECKETT e OLTJEN, 1993; HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Somado a isto, limitar a ingestão de água pode reduzir o desempenho animal de forma mais rápida do que qualquer outra deficiência de nutrientes. Os animais domésticos podem viver até 60 dias sem alimento, contudo a restrição de água superior a sete dias provoca a morte (LARDY *et al.*, 2008). Dessa maneira, torna-se primordial a utilização racional de recursos hídricos, principalmente em relação à utilização da água azul na pecuária, fazendo-se necessário a criação de índices capazes de selecionar animais mais adaptados ao calor e que consumam uma menor quantidade de água sem perder a eficiência produtiva.

Consumo de água

Nardone *et al.* (2010) descrevem que a eficiência na utilização da água está se tornando fator fundamental na produção de proteína animal, devido à escassez de água e redução da qualidade hídrica. Desta forma, a busca por sistemas sustentáveis focados na produção de uma maior quantidade de alimentos com menor utilização de água aumentou. Segundo Thornton *et al.* (2009), durante as próximas décadas haverá uma crescente demanda de água em vários lugares do globo e as políticas que abordam a questão de eficiência de produção hídrica e alimentar serão cada vez mais necessárias.

A ingestão de água é diretamente afetada pelo peso corporal dos bovinos. À medida que os animais crescem e se tornam mais pesados, aumenta também a exigência diária de água, ou seja, animais maiores e mais pesados consomem mais água quando comparados com animais menores e mais leves (AHLBERG, 2017).

Animais que estão em ambientes mais quentes devem consumir 2 a 3 vezes mais água do que aqueles na sua zona de conforto, além de correr um risco maior de exposição a doenças por água contaminada. Todos os efeitos do aquecimento global sobre a disponibilidade de água poderiam forçar o setor pecuário a estabelecer uma nova prioridade na produção de produtos de origem animal que requerem uma menor utilização de água (NARDONE *et al.*, 2010).

Fatores ambientais e climáticos podem afetar drasticamente o consumo de água pelos bovinos. Segundo Arias e Mader (2011), o estresse térmico mostrou ter um efeito negativo no desempenho de bovinos em confinamento quando terminados no verão. Em conformidade com Lardy *et al.* (2008), animais que ingeriram água fresca ganharam cerca de 150 g a mais do que aqueles que consumiram água em temperatura mais elevada. Bovinos que passaram por estresse térmico, e possuem disponibilidade de água limitada, tendem a ter sua troca normal de calor impedida. A restrição hídrica em ruminantes resulta também em uma diminuição do consumo de matéria seca, que por sua vez leva a uma queda na produtividade (SCHLINK *et al.*, 2011; AHLBERG, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Os requisitos diários de ingestão de água em bovinos são influenciados por raça, dieta (composição do alimento), peso corporal, estágio de produção, qualidade e temperatura da água, e fatores ambientais como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento (NRC, 2000; PARKER *et al.*, 2000; LARDY *et al.*, 2008; ARIAS e

MADER 2011; AHLBERG, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017; ZANETTI *et al.*, 2019). Como esses fatores interagem entre si, é difícil determinar o requerimento hídrico de cada animal, além de que, quando somados às diferenças genéticas, eleva-se ainda mais a variação entre indivíduos (AHLBERG, 2017).

Winchester e Morris (1956) foram os primeiros pesquisadores a estimarem o consumo de água para gado leiteiro e de corte com base na temperatura, peso corporal e estágio de produção dos animais. Hicks *et al.* (1988) desenvolveram uma equação de regressão para consumo de água em novilhos de confinamento, com base na temperatura, ingestão de matéria seca, pluviosidade e quantidade de sal na dieta, os quais influenciam diretamente na ingestão de água pelos bovinos (NRC, 2000).

Existem ainda dois trabalhos recentes sobre estimativa do consumo de água em bovinos de corte. Ahlberg *et al.* (2018) estimaram o consumo hídrico de 579 bovinos cruzados, e encontraram que os melhores preditores lineares são o consumo de matéria seca, peso metabólico, temperatura ambiente média, radiação solar, humidade relativa e velocidade do vento. Já Zanetti *et al.* (2019) realizaram um estudo utilizando a raça Nelore, e encontraram que as outras equações de predição relatadas na literatura superestimaram o real valor do consumo de água dos bovinos zebuínos. Esses autores também desenvolveram uma equação de regressão para o consumo de água utilizando o peso metabólico, temperatura máxima, humidade relativa e consumo de matéria seca (ZANETTI *et al.*, 2019).

Hoffman e Self (1972) avaliaram o efeito das estações do ano sobre o consumo de água em bovinos e encontraram que animais terminados durante o verão (19,2°C) apresentaram um consumo médio de 31,2 litros, e os animais terminados durante o inverno (-6,7°C) consumiram em média 19 litros por dia. Arias e Mader (2011) relataram que bovinos terminados durante o verão (21,4°C) consumiram 87,3% (32,4 litros vs. 17,3 litros) a mais de água do que os bovinos terminados durante o inverno (-2,0°C). Em geral, durante períodos de frio, a ingestão de água por bovinos diminui, enquanto que a ingestão de matéria seca tende a aumentar. O inverso ocorre durante períodos quentes do ano, onde há estresse calórico, gerando uma redução na ingestão de matéria seca e aumento do consumo de água por esses animais (ARIAS e MADER, 2011).

Bovinos que tem acesso à sombra durante o verão consomem menos água (30,1 vs. 32,6 litros; $P < 0,01$) do que bovinos que não tem acesso à sombra (HOFFMAN e SELF, 1972). No entanto, este resultado não foi observado em bovinos alimentados durante o inverno, onde não há diferença no consumo de água para animais que têm acesso à sombra (HOFFMAN e SELF, 1972).

A sombra fornecida ao gado no estudo de Hoffman e Self (1972) era uma estrutura aérea que permitia o fluxo de ar. Estruturas de sombra que são fechadas em vários lados restringiriam o fluxo de ar através da estrutura e provavelmente impactariam negativamente o estresse térmico e o consumo hídrico, porque o fluxo de ar pode ajudar a resfriar os animais (MADER *et al.*, 2006). Durante o verão, os bovinos necessitam reduzir a temperatura corporal, o que resulta em um aumento da ingestão de água (BEEDE e COLLIER, 1986). A primeira maneira é através do resfriamento evaporativo (MORRISON, 1983), o que aumenta a demanda de água para se manter a homeostase corporal.

Os efeitos da temperatura da água no consumo hídrico foram examinados por Ittner *et al.* (1951). Dois grupos de bovinos Hereford constituídos por três novilhos e uma novilha por grupo tiveram a ingestão de água avaliada usando medidores de água calibrados nos bebedouros. Neste estudo, os bovinos que beberam água resfriada a 18°C reduziram o consumo de água (4,73 litros a menos por dia) em comparação com os bovinos que tinham água não resfriada, com temperatura média de 31,2°C (58,14 litros vs. 62,87 litros respectivamente). Portanto, ao fornecer sombra sobre as fontes de água, a temperatura da água seria mais baixa que as águas não sombreadas, reduzindo assim a quantidade de água consumida para auxiliar no resfriamento corporal.

Winchester e Morris (1956) demonstraram que bovinos taurinos (*Bos taurus*) possuem um maior consumo de água quando comparados com as raças zebuínas (*Bos indicus*), especialmente com a elevação de temperatura ambiente. Phillips (1960) também relatou que bovinos da raça Hereford consumiram uma maior quantidade de água em relação ao peso corporal do que bovinos zebuínos (0,055 L/kg vs. 0,044 L/kg, respectivamente; $P < 0,02$). Beatty *et al.* (2006) avaliaram o aumento do consumo de água em bovinos da raça Angus e da raça Brahman quando expostos ao aumento de temperatura ambiente, e encontraram que os bovinos da raça Angus apresentaram

um maior aumento do consumo de água com a elevação da temperatura ambiente quando comparados com os bovinos da raça Brahman.

Brew *et al.* (2011) também analisaram as diferenças no consumo hídrico entre vários cruzamentos de raças em bovinos, onde as novilhas cruzadas $\frac{1}{2}$ Charolês x $\frac{1}{2}$ Angus consumiram mais água (42,8 litros; $P < 0,05$) que $\frac{1}{2}$ Angus x $\frac{1}{2}$ Brangus (30,8 litros), Brangus (30,8 litros), $\frac{1}{2}$ Charolês x $\frac{1}{2}$ Brangus (29,7 litros), $\frac{1}{2}$ Brangus x $\frac{1}{2}$ Romosinuano (24,1 litros) e $\frac{1}{2}$ Charolês x $\frac{1}{2}$ Romosinuano (20,7 litros). No entanto, embora a raça Romosinuano seja classificada como uma raça taurina, elas são conhecidas por sua adaptabilidade tropical (RILEY *et al.*, 2014), o que pode explicar o motivo em que os cruzamentos que consumiram uma menor quantidade de água foram os que utilizaram as raças Brangus e Romosinuano no trabalho de Brew *et al.* (2011). Alguns bovinos tropicalmente adaptados, como Romosinuano, não têm influência de zebu, o que sugere que outras raças taurinas adaptadas podem ser utilizadas com o intuito de melhorar o desempenho produtivo sem aumentar a quantidade de água consumida por esses animais.

Segundo Ahlberg (2017), a adaptabilidade deve se tornar um caráter de seleção chave para a indústria da carne bovina. Entretanto, a seleção desta característica é um processo lento e difícil, sendo desafiadora a definição e mensuração, mas que se não for realizado, corre o risco de perder produtividade no futuro. Somado a isso, têm-se ainda o aumento da utilização de raças taurinas em cruzamentos com zebuínos com a finalidade de melhoria da qualidade de carne e maior potencial produtivo (ROSA *et al.*, 2013).

Nesta perspectiva, a maior utilização de graus de sangue taurinos em rebanhos zebuínos levaria a um aumento da quantidade de água consumida por esses animais, visto que em geral, raças taurinas apresentam um maior consumo de água do que raças zebuínas (WINCHESTER e MORRIS, 1956; PHILLIPS, 1960; BEATTY *et al.*, 2006; BREW *et al.*, 2011), tornando importante buscar alternativas capazes de reduzir a utilização dos recursos hídricos na pecuária. Uma maneira que vem sendo trabalhada nos últimos anos é a utilização de raças taurinas adaptadas, visando manter alta produtividade aliada a uma boa adaptabilidade a ambientes tropicais.

Senepol – raça taurina adaptada aos trópicos

As raças taurinas adaptadas foram formadas a partir do gado europeu e, durante o período colonial, foram introduzidas no novo mundo. Após um longo processo de adaptação às condições ambientais do clima tropical e devido ao modo em que foram criadas e selecionadas, as raças taurinas adaptadas se destacam por associarem uma boa adaptabilidade ao ambiente tropical e possuírem elevados índices de fertilidade, habilidade materna e maciez da carne, típica dos taurinos (ROSA *et al.*, 2013).

A raça Senepol foi desenvolvida no início do séc. XX, nas Ilhas Virgens de Saint Croix, proveniente de um cruzamento entre N'Dama, uma raça taurina da África Ocidental que apresenta características adaptativas em relação a resistência a parasitas, adaptação ao clima tropical e possui chifres, e o Red Poll, uma raça taurina europeia de caráter mocho, dócil e boa conformação frigorífica (HUPP *et al.*, 1978; DE PAULA *et al.*, 2018). Os objetivos de seleção traçados dentro da raça Senepol buscavam aumentar a produção de carne, melhorar a habilidade materna, aprimorar a fertilidade e buscar um caráter mocho aos animais (FLORI *et al.*, 2012).

De acordo com a ASBIA – Associação Brasileira de Inseminação Artificial (2017), a produção de sêmen de touros Senepol atingiu cerca de 240 mil doses produzidas em 2014, ficando na terceira colocação de produção de sêmen de bovinos de corte no Brasil, ficando atrás apenas das raças Nelore e Angus. Esta grande produção ocorreu devido ao aumento de produtores com interesse na raça, buscando a utilização de animais Senepol como rebanho puro ou como uma alternativa de cruzamento. No último relatório da ASBIA (2017), a raça ocupa a sétima posição no total de vendas no país, atingindo um total de 90.610 doses de touros Senepol comercializadas.

Nesta perspectiva, a raça tem sido muito utilizada como alternativa de cruzamento com zebuínos, com a finalidade de aumentar a produtividade e maciez de carne aliada a uma boa adaptabilidade aos ambientes tropicais. Portanto, pelo fato de Winchester e Morris (1956), Phillips (1960), Beatty *et al.* (2006) e Brew *et al.* (2011) relatarem que animais taurinos consomem uma maior quantidade de água, são necessário mais estudos para elucidar se é possível selecionar o potencial de eficiência hídrica em raças taurinas de bovinos de corte.

Parâmetros genéticos

O melhoramento genético promovido pela seleção está fundamentada na escolha dos pais para a próxima geração, determinando a intensidade do uso dos mesmos na reprodução. A proposta principal está baseada no aumento da frequência dos alelos favoráveis à eficiência produtiva desses animais, o que faz necessário definir o critério de seleção de cada rebanho para intensificar as características desejáveis de cada produtor (NIETO *et al.*, 2013).

De acordo com Moreira et al. (2015), a seleção é realizada baseando-se na análise genética de dados fenotípicos do indivíduo que levam à identificação dos animais superiores, através da predição do valor genético. A seleção realizada com base no valor genético permite a escolha dos animais que serão selecionados para serem pais das próximas gerações, aumentando então a frequência dos genes favoráveis e promovendo o melhoramento genético das características escolhidas como critérios de seleção, melhorando assim o desempenho fenotípico dos animais (SILVA *et al.*, 2012).

Os valores fenotípicos observados podem ser mensurados diretamente nos animais, porém, apenas os valores genéticos influenciam na expressão de determinada característica na geração seguinte. Para que esses valores fenotípicos observados sejam úteis em programas de melhoramento genético, ou seja, para que eles possibilitem acelerar o mérito genético na direção desejada, é necessário estimar de forma acurada os parâmetros genéticos para as características avaliadas (YOKOO *et al.*, 2007).

Os parâmetros genéticos são valores específicos de cada população ou rebanho, sendo alterados em consequência de seleção genética, mudanças no ambiente e até métodos de estimação. De acordo com Eler (2015), os parâmetros genéticos mais importantes são a herdabilidade, correlações e a repetibilidade, onde as correlações podem ser divididas em fenotípicas, genéticas e ambientais ou residuais.

Herdabilidade

A herdabilidade (h^2) é o parâmetro que indica a consistência (confiabilidade) da utilização do fenótipo (desempenho produtivo do animal) na determinação do valor

genético de uma característica na população, ou seja, é um coeficiente que estima o grau com que as características genéticas são herdadas (ELER, 2015).

De acordo com Falconer e Mackay (1996), os coeficientes de herdabilidade determinam a capacidade de transmissão da característica avaliada para a sua progênie, expressando quanto da variabilidade de uma característica é de origem genética e, assim, se possui resposta à seleção, tornando a h^2 uma ferramenta de grande importância para a definição das estratégias de melhoramento genético.

A partir da necessidade de gerar sistemas de produção mais eficientes e tecnificados, buscando aumentar a produtividade de forma coletiva, se faz necessário incluir mais características como critério de seleção, atribuindo o valor genético e econômico de um animal com base no conjunto dessas características (PEREIRA, 2008). Porém, as características de consumo e eficiência hídrica ainda não foram muito bem esclarecidas, existindo apenas dois estudos utilizando bovinos de corte até o momento na literatura mundial, Menezes *et al.* (2018) e Ahlberg (2018).

Menezes *et al.* (2018) utilizaram 587 novilhas Senepol divididas em teste de desempenho em confinamento, onde foram coletados dados de consumo de água diário através do sistema Intergado®, e relataram herdabilidades de $0,47 \pm 0,12$ para CH (consumo hídrico) e $0,39 \pm 0,12$ para CH_{GMD} (consumo hídrico residual estimado utilizando o ganho médio diário – eficiência hídrica). CH_{GMD} foi calculado a partir de uma equação de regressão utilizando o GMD (ganho médio diário) e o $PM^{0,75}$ (peso metabólico).

Ahlberg (2018) utilizou 578 animais cruzados em teste de desempenho em confinamento, onde coletou-se também o consumo de água diariamente através de sistema eletrônico, encontrando herdabilidade de $0,39 \pm 0,14$ para CH e $0,37 \pm 0,15$ para CH_{CMS} . Diferente de Menezes *et al.* (2018), Ahlberg (2018) calculou o CH_{CMS} (consumo hídrico residual estimado utilizando o consumo de matéria seca) utilizando o CMS (consumo de matéria seca) ao invés do GMD na equação de regressão, porém ambos obtiveram resultados semelhantes, demonstrando que o CH e a eficiência hídrica apresentariam boa resposta a seleção.

Existem ainda dois trabalhos utilizando camundongos para estimação de herdabilidades para CH. Ramirez e Fuller (1976) relataram uma estimativa de herdabilidade de 0,44, enquanto Bachmanov *et al.* (2002) relataram uma estimativa de herdabilidade de 0,69. Bachmanov *et al.* (2002) utilizaram 28 linhagens diferentes

de camundongos, onde o CH individual foi coletado ao longo de um período de 4 dias, e Ramirez e Fuller (1976) utilizaram camundongos heterogêneos, totalmente e parcialmente endogâmicos que tiveram consumo de água individual coletado por 38 dias.

Em uma meta-análise realizada por Berry e Crowley (2013) contendo 39 publicações científicas relacionadas com eficiência alimentar em bovinos de corte, verificou-se que as herdabilidades de CMS variam na literatura de 0,06 a 0,70, com uma estimativa média agrupada de 0,40. O GMD tem uma herdabilidade média moderada de 0,31 e varia de 0,06 a 0,65. O consumo alimentar residual (CAR) tem uma herdabilidade média moderada de 0,33 e varia de 0,07 a 0,62. As estimativas de herdabilidade para a taxa de conversão alimentar (CA) variam de 0,06 a 0,46 e tiveram uma média de 0,23. As estimativas de herdabilidade média foram moderadas para todas essas características, portanto, a seleção pode ser praticada para melhorar o mérito genético de cada uma dessas características dentro de rebanho de bovinos. Há uma grande variedade das estimativas de herdabilidade para essas características, sugerindo grandes diferenças na variação genética para populações ou raças de bovinos distintas. Também pode haver diferenças devido ao ambiente em que os animais foram criados (BERRY e CROWLEY, 2013).

Correlação genética e fenotípica

É necessário conhecer as inter-relações genéticas e fenotípicas ou residuais entre as características utilizadas a fim de conduzir o processo de seleção de forma adequada e também verificar e controlar os efeitos da seleção de uma característica sobre as outras. Dessa forma, o tamanho e sentido das respostas correlacionadas são determinados, principalmente, pela correlação genética entre as características envolvidas. As correlações genéticas entre duas características mostram a extensão em que os mesmos genes afetam a sua expressão (ELER, 2015), ou seja, calcula a probabilidade de duas características diferentes serem afetadas pelos mesmos genes (FALCONER, 1981; PEREIRA, 2008).

É importante ressaltar que as correlações podem ser favoráveis ou desfavoráveis, independente da magnitude e direção, de acordo com o que se almeja das características (PEREIRA, 2008). A partir do conhecimento da correlação é possível realizar também seleção indireta para características cuja seleção direta é de

difícil realização, seja em razão da baixa herdabilidade, dificuldade de mensuração ou identificação, expressão tardia ou restrita a um gênero, obtendo resposta correlacionada, que, em algumas situações, é maior que a seleção direta, norteados progressos genéticos mais expressivos (FALCONER e MACKAY, 1996).

Existem na literatura apenas os dois trabalhos já citados anteriormente que apresentam resultados de correlação para CH em bovinos de corte. Menezes *et al.* (2018) encontraram que o CH apresentou fortes correlações genéticas positivas com o CMS (0,75), sugerindo que esta medida poderia ser utilizada para estimar a ingestão de alimentos em bovinos, podendo ser vantajoso em sistemas a pasto, onde a avaliação do consumo de matéria seca em larga escala ainda não é uma alternativa viável. A medida de eficiência hídrica ($CHRGMD$) apresentou correlação genética positiva com a medida de eficiência alimentar (CAR, 0,50) o que indica que a seleção para animais com melhor eficiência hídrica também pode levar ao progresso genético para eficiência alimentar. Encontraram ainda que o CH apresentou 0,70 de correlação genética com o GMD, 0,39 com o CAR e 0,90 com o $CHRGMD$ (MENEZES *et al.*, 2018).

Em contrapartida, Ahlberg (2018) encontrou que o consumo de água tem uma correlação genética praticamente nula com GMD (0,05), porém apresentou correlações genéticas moderadas com CMS (0,34) e CAR (0,33) e fortes correlações genéticas com $CHRCMS$ (0,88), resultados semelhantes aos apresentados por Menezes *et al.* (2018). Ahlberg (2018) relatou ainda que o CH apresentou alta correlação genética com outras medidas de eficiência, sendo conversão hídrica (0,99) e conversão alimentar (0,90). As medidas de eficiência hídrica ($CHRCMS$ e conversão hídrica) são altamente correlacionadas geneticamente (0,89), assim como as medidas de eficiência alimentar (CAR e conversão alimentar), que apresentaram correlação genética de 0,88 (AHLBERG, 2018).

De maneira diferente, Fischer e Faverdin (2016) estimaram o consumo de água através do monitoramento da temperatura ruminal a cada cinco minutos de vacas Holandesas através de termobolus ruminal, e a partir da soma diária das diferenças de temperaturas do rúmen corrigidas para o consumo de água e da temperatura bruta do rúmen eles obtiveram o indicador de CH. Através de uma regressão utilizando o CH, a produção acumulada de leite e o peso corporal médio das vacas eles obtiveram o CHR e verificaram que esta característica explicou 29% da variação do CAR e apresentou um coeficiente de correlação de 55% com a eficiência alimentar (CAR).

Bachmanov *et al.* (2002) relataram uma correlação fenotípica positiva entre o CMS e CH em camundongos de 0,65, semelhante aos resultados encontrados por Menezes *et al.* (2018). Existem diferenças fisiológicas entre bovinos e camundongos devido ao fato de que bovinos são ruminantes e camundongos são monogástricos, além da grande diferença no tamanho corporal, o que leva a diferenças nos requisitos de manutenção (DEMMENT e VAN SOEST, 1985).

Considerações finais

Diante do exposto, este trabalho visa contribuir para o melhoramento genético de bovinos de corte, por meio da estimação de parâmetros genéticos das principais características associadas ao consumo e eficiência hídrica relacionadas com outras características de desempenho em bovinos de corte.

A estimação dos parâmetros genéticos contribuirão para o conhecimento sobre as características relacionadas ao consumo de água e aos mecanismos de funcionalidade que estão relacionados à expressão dessas características em bovinos de corte. Dessa forma, resultados obtidos por meio destas metodologias poderão beneficiar a produtividade e a competitividade da pecuária, fortalecendo a posição do setor agropecuário diante da produção de genética de qualidade e de carne bovina sustentável no cenário mundial.

REFERÊNCIAS

- AHLBERG, C. M. The importance of Water efficient and adaptable Beef Cattle. **Beef Improvement Federation – Annual Convention**. Georgia, 2017.
- AHLBERG, C. M. **Characterization of Water Intake in Beef Cattle: Test Length Guidelines, Water Intake Prediction, and Genetic Parameters**. PhD thesis. Kansas State University, Manhattan, Kansas, 2018. p. 225.
- AHLBERG, C. M.; ALLWARDT, K.; BROOCKS, A.; BRUNO, K.; MCPHILLIPS, L.; TAYLOR, A.; KREHBIEL, C. R.; CALVO-LORENZO, M. S.; RICHARDS, C. J.; PLACE, S. E.; DESILVA, U.; VANOVERBEKE, D. L.; MATEESCU, R. G.; KUEHN, L. A.; WEABER, R. L.; BORMANN, J. M.; ROLF, M. M. Environmental effects on water intake and water intake prediction in growing beef cattle. **Journal of Animal Science**. 96, 4368-4384, 2018.
- ARIAS, R. A. e MADER, T. L. 2011. Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots. **Journal of Animal Science**. 89, 245-251, 2011.
- ASBIA – Associação Brasileira de Inseminação Artificial. 2017. **Index ASBIA 2017**. www.asbia.org.br/wp-content/uploads/2018/10/INDEX-ASBIA-2017_completo.pdf (acesso 24 Setembro 2019).
- BACHMANOV, A. A.; REED, D. R.; BEAUCHAMP, G. K.; TODOFF, M. G. Food intake, water intake, and drinking spout side preference of 28 mouse strains. **Behavior Genetics**. 32, 435-443, 2002.
- BECKETT, J. L. e OLTJEN, J. W. Estimation of the water requirement for beef production in the United States. **Journal of Animal Science**. 84, 3415-3420, 1993.
- BEEDE, D. K. e COLLIER, R. J. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during the thermal stress. **Journal of Animal Science**. 71, 543-554, 1986.
- BERRY, D. P. e CROWLEY, J. J. Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. **Journal of Animal Science**. 91, 1594–1613, 2013.
- BREW, M. N.; MYER, R. O.; HERSOM, M. J.; CARTER, J. N.; ELZO, M. A.; HANSEN, G. R.; RILEY, D. G. Water intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. **Livestock Science**. 140, 297-300, 2011.
- BEATTY, D. T.; BARNES, A.; TAYLOR, E.; PETHICK, D.; MCCARTHY, M.; MALONEY, S. K. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged continuous heat and humidity. **Journal of Animal Science**. 84, 972-985. 2006.
- DEMMENT, M. W. e VAN SOEST, R. J. A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and nonruminant herbivores. **The American Naturalist**. 125, 641-672, 1985.
- DE PAULA, D.; CORSI, F.; CORSI, M. H. **Linhagens do Senepol. Os Genearcas da Raça – de Saint Croix para o Brasil e do Brasil para o Mundo**. 1. ed. Uberlândia – MG, 2018. ISBN 978-85-62723-04-9.
- DOREAU, M.; CORSON, M. S.; WIEDEMANN, S. G. Water use by livestock: A global perspective for a regional issue? **Animal Frontiers**. 2, 9-16, 2012.
- ELER, J. P. **Teorias e métodos em melhoramento genético animal: I bases do melhoramento genético animal**. Pirassununga, 308 f, 2015

EUCLIDES FILHO, K. Cenários para a cadeia produtiva da carne bovina no Brasil, In: ROSA, A. N.; MARTINS, E. N.; MENEZES, G. R. O.; SILVA, L. O. C. (Eds.), **Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus-Embrapa**, primeira ed. Embrapa, Brasília, DF, pp. 1-10, 2013.

FALCONER, D. S. **Introduction to Quantitative Genetics**. London, Longman Group Corporation. 340p, 1981.

FALCONER, D. S. e MACKAY, T. F. C. C. **Introduction to quantitative genetics**. 4a ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1996.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Rome, 2017. <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf> (acesso 17 Fevereiro 2020), 2017.

FISCHER, A. e FAVERDIN, P. Rumen temperature monitoring to assess feed efficiency of dairy cows. 67. **Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)**, Aug 2016, Belfast, United Kingdom. Wageningen Academic Publishers, 22, 2016, Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 2016.

FLORI, L.; GONZATTI, M. I.; THEVENON, S.; CHANTAL, I.; PINTO, J.; BERTHIER, D.; ASO, P. M.; GAUTIER, M. A quasi-exclusive European ancestry in the Senepol tropical cattle breed highlights the importance of the slick locus in tropical adaptation. **Plos One**. 7, e36133, 2012.

GUIMARÃES, A. L.; MERCADANTE, M. E. Z.; CANESIN, R. C.; BRANCO, R. H.; LIMA M. L. P.; CYRILLO, J. N. S. G. Phenotypic association between feed efficiency and feeding behavior, growth and carcass traits in Senepol cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 46, 47-55, 2017.

HANSEN, G. R.; CARSTENS, G. E.; RILEY, D. G. Relationship between residual feed intake, water intake and ultrasound body composition traits in Angus bulls. **Journal of Animal Science**. 85, 551 (Abstract), 2007.

HAYES, B. J.; LEWIN, H. A.; GODDARD, M. E. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. **Cell Press**. 29, 206-214, 2013.

HICKS, R. B.; OWENS, F. N.; GILL, D. R.; MARTIN, J. J.; STRASIA, C. A. Water intake by feedlot steers, 208. **Oklahoma Animal Science and Reproduction**, 125. Animal Science Department, Oklahoma State University, Stillwater, p. 208, 1988.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M. M. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard**. Earthscan, London, UK, 2011.

HOFFMAN, M. P. e SELF, H. L. Factors Affecting Water Consumption by Feedlot Cattle. **Journal of Animal Science**. 35, 871-876, 1972.

HUPP, H. D. **History and development of Senepol cattle**. Saint Croix: Agricultural Experiment Station, College of the Virgin Islands, 12 p. 1978.

ITTNER, N. R.; KELLY, C. F.; GUILBERT, H. R. Water consumption of Hereford and Brahman cattle and the effect of cooled drinking water in hot climate. **Journal of Animal Science**. 10, 742-751, 1951.

- LARDY, G.; STOLTENOW, C.; JOHNSON, R. Livestock and water. **North Dakota State University – Extension Service**. AS-954, 2008.
- MADER, T. L.; DAVIS, M. S.; BROWN-BRANDL, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. **Journal of Animal Science**. 84, 712-719, 2006.
- MANZARDO, A.; REN, J.; PIANTELLA, A. MAZZI, A.; FEDELE, A.; SCIPIONO, A. Integration of water footprint accounting and costs for optimal chemical pulp supply mix in paper industry. **Journal of Cleaner Production**. 72, 167-173, 2014.
- MEKONNEN, M. M. e HOEKSTRA, A. Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. **Ecosystems**. 15, 401–415, 2012.
- MENDONÇA, C. P.; ALMEIDA, L. F. R.; BROCH, S. A. O.; ALVES SOBRINHO, T. Cobrança pelo uso da água: a visão do setor industrial. **REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina**. 14(4), 2017.
- MENEZES, G. R. O.; GOMES, R. C.; RIBAS, M. N.; TORRES JUNIOR, R. A. A.; FERNANDES JUNIOR, J. A.; PEREIRA, G. M.; FÁVERO, R.; SILVA, L. O. C. Genetic and phenotypic parameters for feed and water efficiency in Senepol cattle, in: **Proceedings 41st ICAR – Global Standard Livestock Data**, Annual Conf., Auckland, New Zealand, 2018.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and human well-being: Synthesis. **Island Press**. Washington, 2005.
- MOREIRA, L. H.; BUZANSKAS, M. E.; MUMANRI, D. P.; CANOVA, E. B.; LOBO, R. B.; PAZ, C. C. P. Reproductive traits selection in Nelore Beef Cattle. **Ciência e Agrotecnologia**. 39, 355-362, 2015.
- MORRISON, S. R. Ruminant heat stress: Effect on production and means of alleviation. **Journal of Animal Science**. 67, 1594-1600, 1983.
- MURTHA, N. A.; CASTRO, J. E.; HELLER, L. Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil. **Ambiente e Sociedade**. 18, 193-210, 2015.
- NARDONE, A.; RONCHI, B.; LACETERA, N.; RANIERI, M. S.; BERNABUCCI, U. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. **Livestock Science**. 130, 57-69, 2010.
- NIETO, L. M.; ALENCAR, M. M.; ROSA, A. N. Critérios de seleção. In: ROSA, A. N.; MARTINS, E. N.; MENEZES, G. R. O.; SILVA, L. O. C. (Ed.). **Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus-Embrapa**. Brasília: Embrapa; Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2013. 10, 109-122, 2013.
- NRC. **Nutrient Requirements of Beef Cattle**, update 2000. National Academy Press, Washington D.C, 2000.
- OLIVEIRA, B. C.; CAETANO, G. A. O.; CAETANO JUNIOR, M. B.; MARTINS, T. R.; OLIVEIRA, C. B. Mecanismos reguladores de consumo em bovinos de corte. **Nutritime Revista Eletrônica**. 14, 6066-6075, 2017.
- PALHARES, J. C. P.; MORELLI, M.; COSTA JUNIOR, C. Impact of roughage-concentrate ratio on the water footprints of beef feedlots. **Agricultural Systems**. 155, 126-135, 2017.

- PARKER, D. B.; PERINO, L. J.; AUVERMANN, B. W.; SWEETEN, J. M. Water use and conservation at Texas high plains beef cattle feedyards. **Applied Engineering in Agriculture**. 16, 77-82, 2000.
- PEREIRA, J. C. C. **Melhoramento genético aplicado à produção animal**, quinta ed. FEPMVZ, Belo Horizonte, 2008.
- PHILLIPS, G. D. The relationship between water and food intakes of European and Zebu type steers. **Journal of Agricultural Science**. 54, 231-234. 1960.
- RAMIREZ, I. e FULLER, J. L. Genetic influence on water and sweetened water consumption in mice. **Physiology and Behavior**. 16, 163-168, 1976.
- RAN, Y. Consumptive water use in livestock production – Assessment of green and blue virtual water contents of livestock products. **Naturvetenskaplig fakulteten**. Göteborgs universitet, 2010.
- RAN, Y.; LANNERSTAD, M.; HERRERO, M.; VAN MIDDELAAR, C. E.; DE BOER, I. J. M. Assessing water resource use in livestock production: a review of methods. **Livestock Science**. 187, 68-79, 2016.
- RILEY, D. G.; CHASE JUNIOR, C. C.; COLEMAN, S. W.; OLSON, T. A. Evaluation of the Criollo breed Romosinuano as purebred and crossbred cows with Brahman and Angus in Florida: I. Reproduction and parturition. **Journal of Animal Science**. 92, 1902-1910, 2014.
- ROSA, A. N. R.; MENEZES, G. R. O.; EGITO, A. A. Recursos genéticos e estratégias de melhoramento, In: ROSA, A. N.; MARTINS, E. N.; MENEZES, G. R. O.; SILVA, L. O. C. (Eds.), **Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus-Embrapa**, primeira ed. Embrapa, Brasília, DF, p. 11-26, 2013.
- ROSEGRANT, M. W.; CAI, X.; CLINE, S. A. Water. Global Water Outlook to 2025: Averting an Impending Crisis. **New England Journal of Public Policy**. 21, 102-127, 2007.
- SCHLINK, A. C.; NGUYEN, M. L.; VILJOEN, G. J. Water requirements for livestock production: a global perspective. **Soils Newsletter**. 33, 6-7, 2011.
- SEGUIN, B.; ROWLINSON, P.; STEELE, M.; NEFZAOU, A. The consequence of global warming for agriculture and food population. In **Proceedings of International Conference of Livestock and Global Climate Change**. p. 9-11, 2008.
- SILANIKOVE, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. **Livestock Production Science**. 67, 1-18, 2000.
- SILVA, R. C. G.; FERRAZ, J. B. S.; MEIRELLES, F. V.; ELER, J. P.; BALIEIRO, J. C. C.; CUCCO, D. C.; MATTOS, E. C.; REZENDE, F. M.; SILVA, S. L. Association of single nucleotide polymorphisms in the bovine leptin and leptin receptor genes with growth and ultrasound carcass traits in Nellore cattle. **Genetics and Molecular Research**. 11, 3721-3728, 2012.
- THORNTON, P. K.; VAN DE STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. **Agricultural System**. 101, 113-127, 2009.

VERONEZE, R.; VENTURA, H. T.; MARQUES, E. G.; COSTA, E. V.; PEREIRA, M. A.; SILVA, F. F.; JOSAHKIAN, L. A. Melhoramento genético de bovinos de corte. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, EPAMIG. 37, 89-96, 2016.

WINCHESTER, C. F. e MORRIS, M. J. Water intake rates of cattle. **Journal of Animal Science**. 15, 722-740, 1956.

YOKOO, M. J. T.; ALBULQUERQUE, L. G.; LOBO, R. B.; SAINZ, R. D.; CARNEIRO JUNIOR, J. M.; BEZERRA, L. A. F.; ARAUJO, F. R. C. Estimativas de parâmetros genéticos para altura do posterior, peso e circunferência escrotal em bovinos da raça Nelore. **Revista Brasileira de Zootecnia**. 36, 1761–1768, 2007.

ZANETTI, D.; PRADOS, L. F.; MENEZES, A. C. B.; SILVA, B. C.; PACHECO, M. V. C.; SILVA, F. A. S.; COSTA e SILVA, L. F.; DETMANN, E.; ENGLE, T. E.; VALADARES FILHO, S. C. Prediction of water intake to *Bos indicus* beef cattle raised under tropical conditions. **Journal of Animal Science**. 97, 1364-1374, 2019.

CAPÍTULO 2: ARTIGO

O artigo foi redigido de acordo com as normas do periódico *Animal*, da *Cambridge University Press*.

PARÂMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS LIGADAS AO USO DA ÁGUA EM BOVINOS SENEPOL

G. M. Pereira ¹, A. A. Egito ^{1,2}, R.C. Gomes ^{1,2}, M. N. Ribas ³, R. A. A. Torres Junior ², J. A. Fernandes Jr. ⁴, G. R. O. Menezes ²

¹ *Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, UFMS, Av. Sen. Filinto Müller, 2443, 79.070-900, Campo Grande, MS, Brasil*

² *Embrapa Gado de Corte, Av. Rádio Maia, 830, 70.106-550, Campo Grande, MS, Brasil*

³ *Intergado Ltd, Rua Rio Paranaguá, 1463, 32.280-300, Contagem, MG, Brasil*

⁴ *Grama Senepol, Fazenda Grama, Pirajuí, SP, Brasil*

Autor correspondente: Gabriel Pereira. Email: gabriel_m_p@hotmail.com

Título curto: Parâmetros genéticos para eficiência hídrica em bovinos

Resumo

As crescentes preocupações sobre a sustentabilidade produtiva, incluindo a disponibilidade de água potável, pressionam cada vez mais o setor agropecuário, especialmente a pecuária, e exigem a identificação e seleção de animais eficientes que possam produzir mais produtos com menos insumos. Assim, parâmetros

26 genéticos e fenotípicos foram estimados para características ligadas ao consumo e
27 eficiência no uso de água em bovinos da raça Senepol. Foram utilizados novilhas
28 ($n=1.072$) e touros ($n= 209$) da raça Senepol, envolvidos em testes de desempenho
29 em confinamento de 2014 a 2018, que tinham acesso a 48 cochos e 12 bebedouros
30 eletrônicos (Intergado® Ltd.) para coleta de registros individuais diários de consumo
31 alimentar e hídrico, respectivamente. As características estudadas incluíram o
32 consumo de água diário individual médio (CH), consumo de matéria seca diário
33 individual médio (CMS), ganho de peso diário médio (GMD), consumo hídrico residual
34 estimado utilizando o GMD (CHR_{GMD}), consumo hídrico residual estimado utilizando o
35 CMS (CHR_{CMS}), conversão hídrica (CONVH), eficiência hídrica (EH), consumo
36 alimentar residual (CAR), conversão alimentar (CA), eficiência alimentar (EA) e peso
37 corporal metabólico médio (PM). As (co)variâncias genéticas foram estimadas usando
38 modelos animais bi-característicos e o software GIBBS2F90. CH, CHR_{GMD} e CHR_{CMS}
39 foram as características de consumo e eficiência hídrica que apresentaram os maiores
40 valores de herdabilidade (0,38; 0,36 e 0,33, respectivamente). As medidas de
41 CHR_{GMD} , CHR_{CMS} e CONVH apresentaram correlações genéticas e fenotípicas
42 positivas com o CH, e a EH apresentou correlações negativas com o CH,
43 demonstrando que todas as medidas de eficiência hídrica são capazes de reduzir a
44 quantidade de água consumida pelos bovinos. O CH apresentou correlação positiva
45 com o CMS ($r_g = 0,79$ e $r_p = 0,60$), sugerindo que o consumo de água pode ser utilizado
46 para estimar o consumo de alimento em futuras pesquisas. Tanto o CHR_{GMD} quanto o
47 CHR_{CMS} foram geneticamente correlacionados com o CAR (0,67 e 0,57,
48 respectivamente), e geneticamente correlacionados com o GMD (0,49 e 0,44,
49 respectivamente), o que demonstra que o consumo hídrico residual pode ter efeito
50 positivo sobre a eficiência alimentar, porém pode apresentar efeito negativo sobre o

desempenho, que pode ser corrigido através de índices de seleção. O melhoramento genético para a eficiência hídrica em bovinos Senepol pode ser alcançado através da seleção. Ao selecionar para a eficiência hídrica se reduz o consumo de água em bovinos de corte. O consumo hídrico pode ser utilizado para estimação do consumo alimentar em futuras pesquisas.

Palavras-chave: consumo hídrico residual, correlação, herdabilidade, recursos hídricos, sustentabilidade na pecuária

Abstract

The growing concerns about sustainable production, including the availability of fresh water, have increasingly put pressure on livestock production, especially cattle, and require the identification and selection of efficient animals that can produce more products with less inputs. Thus, genetic and phenotypic parameters were estimated for traits related to water intake and water use efficiency in Senepol cattle. Senepol heifers ($n= 1,072$) and bulls ($n= 209$) that were involved in feedlot performance tests between the years 2014 and 2018, which had access to 48 eletronic feed bunks and 12 electronic water bunks (Intergado® Ltd.) were used to collect individual daily records of feed and water intake, respectively. The characteristics studied included individual average daily water intake (WI), individual average daily dry matter intake (DMI), average daily gain (ADG), residual water intake calculated from ADG (RWI_{ADG}), residual water intake calculated from DMI (RWI_{DMI}), water to gain ratio (W/G), gain to water ratio (G/W), residual feed intake (RFI), feed to gain ratio (F/G), gain to feed ratio (G/F) and metabolic body weight (MW). Genetic (co)variances were estimated using bi-characteristic animal models and GIBBS2F90 software. WI, RWI_{ADG} and RWI_{DMI}

were the traits of water intake and efficiency that had the highest heritability values (0.38; 0.36 and 0.33, respectively). RWI_{ADG} , RWI_{DMI} and W/G showed positive genetic and phenotypic correlations with WI , and G/W showed negative correlations with WI , demonstrating that all water efficiency measures are capable of reducing the amount of water consumed by cattle. The WI showed a positive correlation with the DMI ($r_g = 0.79$ and $r_p = 0.60$), suggesting that water intake can be used to estimate food intake in future research. Both RWI_{ADG} and RWI_{DMI} were genetically correlated with RFI (0.67 and 0.57, respectively), and genetically correlated with ADG (0.49 and 0.44, respectively), which demonstrates that residual water intake can have a positive effect on feed efficiency, but it can have a negative effect on performance, which can be adjusted through selection indexes. Genetic improvement for water efficiency in Senepol cattle can be achieved through selection. When selecting for water efficiency, the water intake in beef cattle is reduced. Water intake can be used to estimate food intake in future research.

Keywords: correlation, heritability, residual water intake, sustainability in livestock, water resources

Implicações

O consumo hídrico pode ser utilizado em futuras pesquisas para estimar o consumo de matéria seca em bovinos, o que pode colaborar com a predição do consumo alimentar mesmo em sistemas extensivos. A eficiência hídrica pode ser utilizada para a seleção de animais geneticamente superiores em relação ao uso da água, buscando selecionar animais com maior eficiência produtiva que produzam uma maior quantidade de carne com menor quantidade de insumos. O consumo hídrico residual

pode ser utilizado como critério de seleção em programas de melhoramento, contribuindo assim para a sustentabilidade do planeta através da gestão dos recursos hídricos na bovinocultura.

Introdução

A água tem sido tradicionalmente considerada um recurso natural de baixo custo, prontamente disponível e renovável (Brew *et al.*, 2011). Porém, de acordo com Thornton *et al.* (2009), a água doce representa apenas 2,5% de todos os recursos hídricos do mundo, sendo que quase 70% desta água é inutilizável, estando armazenada nas geleiras. Portanto, com a crescente demanda por produtos animais nas próximas décadas, o equilíbrio entre a produtividade animal e o uso da água exigirá um esforço conjunto entre produtores, cientistas, agroindústrias e consumidores, para reduzir os riscos associados à demanda de água gerada por bovinos (Palhares *et al.*, 2017).

Além disto, as médias globais para pegada hídrica da carne são bastantes elevadas, variando entre 15.415 e 15.497 (Mekonnen e Hoekstra 2012; Ran *et al.*, 2016). Estes valores de pegada hídrica da carne bovina são ainda muito superiores a outras fontes de proteína (Mekonnen e Hoekstra, 2012), tornando a eficiência na utilização da água, aliada à segurança alimentar, o principal objetivo para alcançar a sustentabilidade da pecuária (Nardone *et al.*, 2010).

Diante disto, é necessário aliar a sustentabilidade ambiental na produção de carne com a adaptação dos bovinos ao ambiente tropical, na busca de utilizar a eficiência e o consumo de água como possíveis critérios de seleção em bovinos de corte. Nesta perspectiva, raças taurinas adaptadas têm sido utilizadas como alternativa de

cruzamento com zebuínos, com a finalidade de aumentar a produtividade e maciez de carne aliada a uma boa adaptabilidade aos ambientes tropicais (Rosa *et al.*, 2013).

Alguns autores relataram ainda que animais taurinos consomem uma maior quantidade de água quando comparados com zebuínos (Winchester e Morris 1956; Brew *et al.* 2011), tornando necessário novos estudos para elucidar se é possível selecionar o potencial da eficiência hídrica em raças taurinas de bovinos de corte. Um bom exemplo que vem em crescimento nos últimos anos é a raça Senepol, que é classificada como uma raça taurina adaptada tropicalmente (Flori *et al.*, 2012), e se mostra uma interessante alternativa para ser avaliada em relação ao consumo de água.

Existem ainda diversas lacunas a serem preenchidas na avaliação do consumo e eficiência hídrica em bovinos de corte. Destaca-se o papel da genética na expressão dessas características, havendo apenas um estudo nessa temática até o momento na literatura mundial (Ahlberg, 2018). Dessa forma, parâmetros genéticos e fenotípicos foram estimados para características ligadas ao consumo e à eficiência no uso da água em bovinos da raça Senepol, a fim de avaliar a viabilidade de adoção como critérios de seleção em programas de melhoramento.

Material e métodos

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Uso Animal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, no Brasil, sob o número de protocolo 007/2016 de acordo com o Código Brasileiro de Melhores Práticas e Uso Animal.

Dados

Foram utilizados dados de machos (n= 209) e fêmeas (n= 1.072) da raça Senepol (*Bos taurus taurus*) provenientes de nove edições de teste de desempenho realizados entre 2014 e 2019 (Tabela 1). Os animais tinham origem de criatórios de vários estados do Brasil e apresentavam registro genealógico de nascimento e idade de entrada no teste entre 15 e 21 meses. Os testes foram realizados na Fazenda Santo Antônio da Grama, município de Pirajuí, localizado no estado de São Paulo, situada a 21° 59' de latitude sul e 49° 27' de longitude oeste, a uma altitude de 468 m. O clima desta região é tropical, com temperatura média anual de 21,3°C e pluviosidade média anual de 1.198 mm (Climate-Data.org, 2017).

Os animais foram divididos em dois grupos por edição, os quais eram compostos por indivíduos do mesmo sexo e com amplitude de idade máxima de 90 dias. Em seguida, todos os animais foram identificados com brinco eletrônico RFID (*Radio-Frequency Identification*) compatível com o sistema de cochos e bebedouros *Intergado*® (*Intergado*® Ltda., Contagem, Minas Gerais, Brasil), para obtenção automática e individual do consumo de alimento e água ao longo do período de confinamento.

A infraestrutura do confinamento dispõe de 48 cochos e 12 bebedouros eletrônicos dotados de estação de pesagem do sistema *Intergado*®, para obtenção automática do peso vivo em cada evento de consumo de água. Para mais informações sobre o Sistema *Intergado*®, ver Chizzotti *et al.* (2015) e Oliveira Junior *et al.* (2017). Os animais passaram por um período de adaptação à dieta e às instalações de aproximadamente 14 dias e, em média, os testes tiveram duração de 77 dias efetivos, com livre acesso aos cochos e bebedouros automáticos.

A composição alimentar da dieta oferecida no confinamento teve o equivalente a 2,64 Mcal de energia metabolizável e 14% de proteína bruta na matéria seca. A quantidade

de ração oferecida foi calculada com base no consumo diário, para que houvesse sobras entre 5 e 10% do total fornecido para garantir o consumo *ad libitum*.

Não foram computados os valores de água consumidos através da alimentação, onde o consumo de água foi equivalente a quantidade de água que os animais consumiram dentro do bebedouro eletrônico. O sistema foi programado para registrar o peso inicial do cocho ou bebedouro de cada visita individual, bem como o peso final de cada visita. O consumo de água ou alimento foi calculado subtraindo o peso final do cocho ou bebedouro do peso inicial de cada visita.

As características relacionadas ao consumo e eficiência no uso da água que foram estudadas incluem consumo de água diário individual médio (CH, l/dia), consumo hídrico residual estimado utilizando o ganho de peso médio diário (CHR_{GMD} , l de água/dia), consumo hídrico residual estimado utilizando o consumo de matéria seca (CHR_{CMS} , l de água/dia), conversão hídrica ($CONVH$, l de água/kg de GMD) e eficiência hídrica (EH, kg de GMD/l de água). Foram avaliadas também outras características de desempenho, sendo elas: peso corporal metabólico médio (PM, $kg^{0,75}$), ganho de peso diário médio (GMD, kg/dia), consumo de matéria seca diário individual médio (CMS, kg/dia), conversão alimentar (CA, kg de MS/kg de GMD), eficiência alimentar (EA, kg de GMD/kg de MS) e consumo alimentar residual (CAR, kg de MS/dia).

O PM foi calculado elevando-se o peso corporal médio do indivíduo a potência de 0,75. O GMD de cada animal foi obtido através da diferença entre o peso final e o peso inicial no teste, dividido pelos dias de duração do teste. O CMS foi calculado a partir da média de todos os dias válidos de consumo de alimento individual, previamente multiplicados pelo teor de matéria seca da dieta fornecida. O CH foi calculado pela média do consumo de água individual durante todos os dias válidos.

Os dias válidos do teste foram considerados como todos os dias de perfeito funcionamento dos cochos e bebedouros eletrônicos, descartando os dias em que apresentou mau funcionamento dos equipamentos.

A CONVH foi calculada a partir da relação entre o CH com o GMD, e a EH da relação entre o GMD com o CH. Já a CA foi calculada a partir da relação entre o CMS e o GMD, e a EA da relação entre o GMD com o CMS. O CAR, CHR_{GMD} e CHR_{CMS} foram calculados como:

$$CAR = CMS \text{ observado} - CMS \text{ predito}$$

$$CHR_{GMD} = CH \text{ observado} - CH_{GMD} \text{ predito}$$

$$CHR_{CMS} = CH \text{ observado} - CH_{CMS} \text{ predito}$$

em que CMS e CH observados são os consumos de alimento e água diários individuais médios registrados diretamente nos cochos automatizados; CMS, CH_{GMD} e CH_{CMS} preditos foram calculados dentro de cada grupo de edição do teste através das regressões:

$$CMS \text{ predito} = b_0 + b_1 GMD + b_2 PM^{0,75} + e$$

$$CH_{GMD} \text{ predito} = b_0 + b_1 GMD + b_2 PM^{0,75} + e$$

$$CH_{CMS} \text{ predito} = b_0 + b_1 CMS + b_2 PM^{0,75} + e$$

em que b_0 é o intercepto do modelo que inclui o efeito de grupo de edição do teste e b_1 e b_2 são os coeficientes de regressão da primeira e segunda característica considerada e e é o vetor de resíduo.

Edição dos dados

Foram compilados os dados dos 1281 animais participantes das diferentes edições dos testes de desempenho. As informações de pedigree dos animais foram obtidas no banco de dados pertencente ao Programa Embrapa de Melhoramento Genético de

Gado de Corte (Programa Geneplus Embrapa) e à Associação Brasileira de Criadores de Bovinos Senepol (ABCB Senepol), que continha 2.396 animais, sendo 285 touros e 2.111 matrizes. Os grupos de contemporâneos foram formados pelo grupo dentro de cada edição do teste (que levou em conta o sexo e a idade dos animais) e a fazenda de origem do animal, totalizando 110 grupos. Registros fora do intervalo de $\pm 3,0$ desvios padrão da média do grupo contemporâneo foram eliminados. Apenas animais com registros válidos para todas as características estudadas foram mantidos. Grupos de Contemporâneos com menos de três indivíduos também foram descartados, restando, desta forma, 1.116 animais, os quais foram usados neste estudo. A estatística descritiva dos touros e das novilhas estão apresentados de forma separada pelo sexo na Tabela 2.

Análises estatísticas

Foi adotado modelo animal misto com efeito fixo de grupo contemporâneo, efeito linear da idade do animal no início do teste aninhada no grupo contemporâneo como covariável, efeito aleatório genético aditivo direto e resíduo. O modelo utilizado pode ser representado de forma matricial por:

$$y = X\beta + Z\alpha + \varepsilon$$

em que y é um vetor de observações referente a característica analisada, X é uma matriz de incidência de níveis dos efeitos fixos; β é um vetor de efeitos fixos referentes às classes de grupo de contemporâneos e efeito linear da idade do animal no início do teste aninhada em grupo contemporâneo, como covariável; Z é uma matriz de incidência dos efeitos aleatórios genéticos aditivos diretos; α é um vetor de efeitos aleatórios genéticos aditivos diretos dos animais; e ε é um vetor de resíduos da mesma dimensão de y .

Os componentes de (co)variâncias foram estimados através de análises uni e bivariadas por meio de inferência Bayesiana, utilizando os softwares GIBBS2F90 e Postgibbsf90 (Misztal *et al.*, 2002), processando-se 300.000 ciclos, com descarte inicial de 50.000 e valores salvos a cada 10 ciclos, restando uma cadeia de 25.000 ciclos analisados. O diagnóstico de convergência aplicado seguiu o Critério de Geweke (1992), através do pacote “Coda” do Software R (Plummer *et al.*, 2006). No teste de Geweke, os valores iniciais da cadeia de Markov são comparados com valores finais da cadeia para detectar convergência falhas. *P-values* inferiores a 0,05 indicam a existência de evidência contra a convergência de cadeias. As estimativas de herdabilidades foram obtidas a partir da média das análises bivariadas, sendo o desvio padrão o valor mais alto entre as análises. As estimativas de correlações genéticas e fenotípicas foram obtidas a partir das (co)variâncias genéticas aditivas e fenotípicas das análises bivariadas.

Resultados

Todos as análises atingiram a convergência de acordo com o teste de Geweke ($P < 0,05$).

Herdabilidades

As estimativas de herdabilidade direta para as características estudadas variaram de 0,07 a 0,41, e estão apresentadas na Tabela 3. O CH, CH_{GMD} , CH_{CMS} , CMS e PM foram as características que apresentaram valores de herdabilidade mais elevados (0,38; 0,36; 0,33; 0,23; 0,41, respectivamente). Já as outras características analisadas apresentaram valores mais baixos de herdabilidade, variando de 0,07 a 0,12.

275 *Correlações Genéticas e Fenotípicas*

276 As correlações genéticas (r_g) e fenotípicas (r_p) entre as características ligadas ao
277 consumo e eficiência no uso da água são apresentadas na Tabela 4. O CH apresentou
278 altas correlações genéticas e fenotípicas positivas com as duas características de
279 consumo hídrico residual ($CH_{R_{GMD}}$ e $CH_{R_{CMS}}$). Em relação a CONVH, o CH
280 apresentou 0,57 de correlação genética e 0,27 de correlação fenotípica. A EH
281 apresentou correlações genéticas e fenotípicas negativas com todas as outras
282 características de consumo e eficiência hídrica utilizadas, o que já era esperado, pois
283 busca-se aumentar o valor de EH enquanto se reduz o valor das outras características.
284 Os maiores valores de correlações foram entre as medidas de consumo hídrico
285 residual ($CH_{R_{GMD}}$ e $CH_{R_{CMS}}$), que apresentaram correlação genética de 0,98 e
286 fenotípica de 0,91 entre si. Já a CONVH apresentou valores de correlações fenotípicas
287 positivas moderadas com as características de CH, $CH_{R_{GMD}}$ e $CH_{R_{CMS}}$ (0,27, 0,52 e
288 0,35, respectivamente). Em relação a correlação genética da CONVH com essas
289 características, os valores foram um pouco superiores aos da correlação fenotípica,
290 variando de 0,57 a 0,71. A CONVH apresentou alta correlação genética e fenotípica
291 negativa com a EH ($r_g = -0,95$ e $r_p = -0,92$), o que era esperado, pois elas apresentam
292 cálculo semelhante, invertendo apenas o numerador com o denominador.

293 As correlações genéticas e fenotípicas entre as características ligadas ao consumo e
294 eficiência no uso da água e as características de desempenho são apresentadas na
295 Tabela 5. O CH apresentou correlações genéticas positivas moderadas a forte com
296 as características de desempenho analisadas, com exceção da CA e da EA, que
297 apresentaram -0,03 e 0,27 de correlação genética com o CH, respectivamente. Já as
298 correlações fenotípicas entre o CH com as outras características foram mais baixas,

onde apenas o CMS e o PM apresentaram correlações moderadas com o CH. A CA e a EA apresentaram correlações fenotípicas praticamente nulas com o CH.

O CHR_{GMD} e o CHR_{CMS} apresentaram valores de correlações genéticas muito semelhantes com as outras características de desempenho, apresentando correlações genéticas moderadas com o GMD e com o CAR, correlações genéticas relativamente baixas com o CMS e a EA, e correlações genéticas praticamente nulas com a CA e o PM. Já as correlações fenotípicas do CHR_{GMD} e CHR_{CMS} com as outras características foram um pouco distintas entre elas, apresentando apenas o mesmo valor de correlação fenotípica (0,05) com o PM. Em relação ao GMD, o CHR_{GMD} apresentou correlação fenotípica de -0,05, diferindo do CHR_{CMS} que apresentou 0,11 com o GMD. A CA apresentou 0,18 de correlação fenotípica com o CHR_{GMD} e -0,11 com o CHR_{CMS} . A EA apresentou correlação fenotípica de -0,17 com o CHR_{GMD} e 0,14 com o CHR_{CMS} . Já em relação ao CMS e ao CAR, o CHR_{GMD} apresentou correlações fenotípicas positivas baixas com essas características, enquanto que o CHR_{CMS} apresentou correlações fenotípicas praticamente nulas com as mesmas características.

A CONVH apresentou correlação genética positiva com a CA (0,69), e correlação genética negativa com a EA (-0,53). O GMD apresentou correlação genética negativa baixa com a CONVH (-0,27) e o PM apresentou correlação genética positiva baixa com a CONVH (0,21). O CMS e o CAR apresentaram correlações genéticas praticamente nulas com a CONVH. A CONVH apresentou correlação fenotípica negativa alta com GMD (-0,75) e com a EA (-0,80). A CONVH apresentou ainda correlação fenotípica positiva alta com a CA (0,86) e baixa com o CAR (0,19), e correlações fenotípicas praticamente nulas com o CMS e o PM.

A EH apresentou correlação genética positiva moderada com o GMD (0,45) e com a EA (0,64), e apresentou também correlação genética negativa moderada com CA (-0,69). O CMS apresentou correlação genética positiva baixa com a EH. O CAR e o PM apresentaram correlações genéticas praticamente nulas com a EH. Em relação as correlações fenotípicas, a EH apresentou correlação positiva alta com o GMD (0,78) e com a EA (0,83). A CA apresentou correlação fenotípica negativa alta com a EH (-0,79). O CAR apresentou correlação fenotípica negativa baixa com a EH (-0,21), enquanto que o CMS e o PM apresentaram correlações fenotípicas praticamente nulas com a EH.

Discussão

Herdabilidades

O CH foi a característica analisada que apresentou o maior valor de herdabilidade. Este alto valor de herdabilidade pode ser devido ao fato em que o consumo de água nunca foi trabalhado em programas de seleção de bovinos de corte, existindo assim grande variabilidade possível de ser trabalhada em relação ao consumo de água dentro do sistema de produção da carne. Ahlberg (2018) também relatou herdabilidade alta para o CH (0,39), onde ela utilizou 578 animais cruzados também em teste de desempenho em confinamento, coletando o consumo de água diariamente através de sistema eletrônico.

Existe apenas este trabalho de Ahlberg (2018) que relata herdabilidades para CH utilizando bovinos de corte na literatura, porém existem ainda dois trabalhos utilizando camundongos. Ramirez e Fuller (1976) relataram uma estimativa de herdabilidade de 0,44 para CH, já Bachmanov *et al.* (2002) relataram uma estimativa de herdabilidade

de 0,69 para a mesma característica. Bachmanov *et al.* (2002) utilizaram 28 linhagens diferentes de camundongos, onde o CH individual foi coletado ao longo de um período de 4 dias. Já Ramirez e Fuller (1976) utilizaram camundongos heterogêneos, totalmente e parcialmente endogâmicos que tiveram consumo de água individual coletado por 38 dias.

Ambas as estimativas de herdabilidade em camundongos são maiores do que as estimativas de herdabilidade para CH relatadas em bovinos de corte, e isto pode ser explicado por diferenças fisiológicas entre bovinos e camundongos, além da grande diferença no tamanho corporal, o que leva a diferenças nos requisitos de manutenção (Demment e Van Soest, 1985). Outro ponto relevante que pode ter influenciado esta diferença é a duração do teste. Ahlberg *et al.* (2018) estabeleceram que são necessários de 35 a 42 dias de dados para a mensuração precisa dos fenótipos de CH. Embora os ruminantes sejam, sem dúvida, bastante diferentes dos monogástricos, Bachmanov *et al.* (2002) coletaram dados apenas por 4 dias, e a curta duração do teste pode ter afetado a estimativa de herdabilidade. Também pode haver diferenças devido aos efeitos da variação climática, uma vez que os camundongos são alojados em um ambiente controlado e os bovinos tendem a ser expostos a diferentes efeitos climáticos.

As estimativas de herdabilidades para CH_{GMD} e CH_{CMS} apresentaram pequenas diferenças, porém o CH_{GMD} apresentou um valor de herdabilidade ligeiramente superior do que o CH_{CMS} . Estes resultados são semelhantes aos relatados por Ahlberg (2018), que calculou o consumo hídrico residual através da regressão utilizando o CMS e o peso metabólico, semelhante ao cálculo do CH_{CMS} , e encontrou 0,37 de herdabilidade para esta característica. Apesar de pequenas diferenças, ambos os consumos hídricos residuais demonstram ser uma medida interessante a

ser trabalhada em bovinos de corte, visto que apresentam valores de herdabilidades passíveis de serem trabalhados na seleção, buscando reduzir a quantidade de água necessária na produção de carne.

As medidas de eficiência hídrica calculadas através da relação entre o GMD e o CH (CONVH e EH) apresentaram valores de herdabilidades inferiores aos das outras medidas de eficiência hídrica (CHR_{GMD} e CHR_{CMS}). Apesar de herdabilidades relativamente baixas, tanto a CONVH quanto a EH apresentam capacidade de serem trabalhadas em programas de melhoramento genético, devido a alta variabilidade existente destas características (Tabela 2).

Outro ponto importante é o aumento da utilização de raças taurinas em cruzamentos com zebuínos, com a finalidade de melhoria da qualidade de carne e maior potencial produtivo (Rosa et al., 2013). Nesta perspectiva, a maior utilização de cruzamentos com bovinos taurinos levaria a um aumento da quantidade de água consumida por esses animais, visto que em geral, raças taurinas apresentam um maior consumo de água do que raças zebuínas (Winchester e Morris, 1956; Phillips, 1960; Beatty *et al.*, 2006; Brew *et al.*, 2011), tornando importante buscar alternativas capazes de reduzir a utilização dos recursos hídricos na pecuária.

Os resultados de herdabilidades moderadas para CH, CHR_{GMD} e CHR_{CMS} demonstram que a quantidade de água consumida pode ser alterada através da seleção, o que poderia dar início a utilização destas características como possíveis critérios de seleção a serem traçados dentro de programas de melhoramento genético, com a finalidade de reduzir o consumo de água dos bovinos de corte, buscando a sustentabilidade ambiental na produção de carne bovina.

Selecionar para eficiência da água e, ao mesmo tempo, considerar características importantes na produção animal, seria o ideal. No entanto, o uso de características de

proporção (CONVH ou EH) para seleção genética apresenta desafios ao tentar prever as mudanças nos componentes característicos para as gerações futuras (Arthur *et al.*, 2001). Portanto, utilizar as características de consumo hídrico residual (CHR_{GMD} ou CHR_{CMS}) como critérios de seleção para melhoria da eficiência hídrica seria uma melhor opção a ser trabalhada dentro de programas de melhoramento genético de bovinos de corte.

Correlações Genéticas e Fenotípicas

As correlações genéticas entre CH e as outras características de eficiência hídrica (Tabela 4) estimadas estão dentro do esperado com base na literatura. Constatou-se que todas as características de eficiência hídrica são relacionadas diretamente com o CH, ou seja, a medida que se reduz qualquer uma das características de eficiência hídrica estudadas, diminui-se o CH dos animais. Devido a presença do CH no cálculo das quatro características de eficiência hídrica (CHR_{GMD} , CHR_{CMS} , CONVH e EH) já era esperado o resultado de altas correlações entre o CH com essas características. Estes resultados foram muito semelhantes aos encontrados por Ahlberg (2018), que encontrou correlação genética alta (0,88) entre CH e CHR_{CMS} e correlação fenotípica de 0,60 entre essas características. Apesar de esperado, estes resultados são muito importantes para se estabelecer o uso da eficiência hídrica como critério de seleção em programas de melhoramento genético, ou seja, ao reduzir o valor do CHR_{GMD} ou do CHR_{CMS} , será possível reduzir a quantidade total de água consumida pelos bovinos.

De maneira semelhante, a CONVH e a EH apresentam-se também como possíveis medidas de eficiência hídrica que podem ser utilizadas para reduzir a quantidade de água consumida pelos bovinos. É importante relatar que ao utilizar a CONVH como

critério de seleção em bovinos de corte, busca-se reduzir o valor desta característica, selecionando os animais que necessitam de uma menor quantidade de água para produzir um quilo de peso vivo. De maneira inversa, quando a EH é utilizada, busca-se aumentar o valor desta característica, selecionando os animais que apresentam o maior ganho de peso em relação a um litro de água consumido. Desta forma, é importante que a correlação entre a CONVH e o CH seja positiva, buscando reduzir ambas características, enquanto que espera-se que a correlação entre a EH e o CH seja negativa, de maneira que ao aumentar o valor da EH se reduz o valor do CH.

Ahlberg (2018) também relatou correlações positivas entre o CH e a CONVH ($r_g = 0,99$ e $r_p = 0,69$), confirmando que ao reduzir a CONVH hídrica dos bovinos, se reduz a quantidade de água consumida pelos mesmos. Além disso, em regiões e períodos climáticos em que a água for um fator limitante na produção, possuir bovinos eficientes na utilização da água será extremamente eficaz e benéfico. Desta forma, se uma prioridade for colocada em CH, CH_{GMD} , CH_{CMS} , CONVH ou EH, juntamente com características relevantes de desempenho produtivo, os produtores poderão selecionar bovinos que mantenham a produtividade quando os recursos hídricos forem limitados.

Ambas medidas de consumo hídrico residual (CH_{GMD} e CH_{CMS}), apresentaram correlação genética e fenotípica positiva com CONVH e correlação genética e fenotípica negativa com a EH. Estes resultados concordam com o que foi relatado por Ahlberg (2018), que encontrou 0,89 de correlação genética e 0,38 de correlação fenotípica entre CONVH e CH_{CMS} , demonstrando que todas as características de eficiência hídrica avaliadas (CH_{GMD} , CH_{CMS} , CONVH ou EH) podem ser utilizadas para selecionar para a redução do consumo de água em bovinos de corte.

O maior valor de correlação genética e fenotípica foi entre CHR_{GMD} e CHR_{CMS} , demonstrando que tanto uma quanto a outra característica poderiam ser utilizadas para selecionar bovinos para eficiência hídrica. Entretanto, vale ressaltar a diferença da necessidade de coleta de dados para o cálculo dessas medidas de eficiência hídrica. Para se obter o CHR_{GMD} é necessário apenas a mensuração do consumo de água e do peso dos animais, semelhante também ao cálculo do CAR (utilizado em testes de eficiência alimentar), o que facilitaria do ponto de vista operacional. Por outro lado, para o cálculo do CHR_{CMS} , é necessário mensurar, além destas duas características, o consumo de alimento. A mensuração do consumo alimentar em bovinos de corte ainda é um processo desafiador em sistemas de produção extensiva, portanto, o CHR_{GMD} demonstra ser uma alternativa mais viável a ser utilizada com o objetivo de reduzir o consumo de água de bovinos.

As correlações genéticas e fenotípicas entre CH e as características de desempenho foram praticamente todas positivas, com exceção da CA e EA, que apresentou correlações praticamente nulas com o CH (Tabela 5). Isto quer dizer que a medida que se aumenta o CH dos animais, aumenta-se todas as outras características de desempenho estudadas.

Vale ressaltar a alta correlação genética e fenotípica positiva entre o CH e o CMS. Ahlberg (2018) também relatou correlação genética e fenotípica positiva entre essas características, porém de magnitude inferior ($r_g = 0,34$ e $r_p = 0,38$). Apesar das grandes diferenças fisiológicas entre bovinos e camundongos, Bachmanov *et al.* (2002) relataram correlação fenotípica positiva entre o CMS e CH em camundongos de 0,65, semelhante aos resultados do presente estudo. Hicks *et al.* (1988) e Brew *et al.* (2011) relataram também uma correlação positiva entre CH e CMS.

Esta alta correlação tanto genética quanto fenotípica entre CH e CMS pode ser explicada pela própria fisiologia da digestão, em que a água se torna nutriente necessário para realizar a passagem e digestão dos alimentos no trato gastrointestinal e posteriormente o metabolismo destes nutrientes no organismo (NRC, 2000). Estes resultados se tornam ainda mais interessantes em relação a produção extensiva de bovinos, visto que a mensuração do consumo alimentar de animais criados a pasto ainda é desafiadora. Neste aspecto, o CH poderia ser utilizado em futuras pesquisas como uma alternativa de predição do CMS mesmo em animais a pasto, visto que a mensuração do consumo de água desses animais necessita apenas de um bebedouro que tenha o controle do quanto de água que cada animal consome por dia.

Tanto o CHR_{GMD} quanto o CHR_{CMS} apresentaram resultados de correlações genéticas muito semelhantes com as outras características de desempenho analisadas, demonstrando que a maneira de calcular a regressão para o consumo hídrico esperado não resultou em diferenças nas correlações genéticas. Apesar do GMD apresentar correlação fenotípica praticamente nula com as duas medidas de consumo hídrico residual (CHR_{GMD} e CHR_{CMS}), as correlações genéticas entre essas características foram moderadas e positivas. Estes resultados discordam do que foi relatado por Ahlberg (2018), que relatou correlação genética negativa (-0,17) entre o CHR_{CMS} e o GMD.

A correlação genética positiva entre o GMD com o CHR_{GMD} e o CHR_{CMS} revela que ao selecionar animais para a redução do consumo de água (reduzir o valor do consumo hídrico residual), diminuiria assim o ganho de peso dessas animais, o que resulta em um problema no sistema de criação de bovinos de corte. Diferente do consumo hídrico residual, a CONVH apresentou correlação genética e fenotípica negativa com o GMD, semelhante ao que foi relatado por Ahlberg (2018), que encontrou -0,57 de correlação

496 genética entre a CONVH e o GMD. Isto representa que o reduzir a conversão hídrica
497 (diminuição do consumo de água por quilo de peso ganho), aumentaria o ganho de
498 peso dos animais.

499 A EH também apresentou resultado favorável de correlação com o GMD, onde ao
500 selecionar para o aumento da EH (maior ganho de peso por litro de água consumido)
501 resultaria em um aumento do GMD dos animais, devido a correlação genética e
502 fenotípica positiva entre essas características. Contudo, tanto a CONVH quanto a EH
503 apresentaram resultados de herdabilidades relativamente baixos (Tabela 3), muito
504 inferiores também as herdabilidades encontradas para as outras duas medidas de
505 eficiência hídrica (CHR_{GMD} e CHR_{CMS}). Portanto, ao utilizar a CONVH ou a EH, isto
506 não resultaria em um problema em relação ao ganho de peso dos animais, porém a
507 resposta a seleção para a redução da quantidade de água consumida se daria de
508 forma mais lenta. Desta forma, a utilização do consumo hídrico residual poderia ser
509 utilizado com a finalidade de reduzir o consumo de água dos bovinos com uma
510 resposta a seleção mais rápida, porém deve-se atentar ao impacto negativo no GMD,
511 o que poderia ser corrigido com a utilização de índices de seleção para ponderação
512 destas características.

513 A medida de eficiência alimentar (CAR) apresentou correlação genética positiva com
514 as duas medidas de consumo hídrico residual (CHR_{GMD} e CHR_{CMS}). Fischer e Faverdin
515 (2016) também relataram correlação positiva entre consumo hídrico residual e o CAR.
516 Entretanto, Ahlberg (2018) relatou correlação genética negativa entre o CAR e o
517 CHR_{CMS} (-0,57). Já as outras medidas de eficiência hídrica (CONVH e EH)
518 apresentaram correlações genéticas praticamente nulas com o CAR.

519 Uma linha de pesquisa que vem crescendo nos últimos anos é a questão da pegada
520 hídrica na produção de carne. De acordo com Hoekstra *et al.* (2011), esta abordagem

da pegada hídrica fornece informações sobre a água consumida e o impacto do produto na quantidade e qualidade da água utilizada. De modo geral, para o cálculo da pegada hídrica, a água é dividida em três partes, sendo ela a verde, a azul e a cinza (Hoekstra *et al.*, 2011). A água verde consiste na água que é perdida no solo através da evapotranspiração das plantas, e é derivada diretamente das chuvas (necessária para o crescimento das plantas e cultivos). Já a água azul representa a água superficial ou subterrânea que é retirada e não retorna ao seu local devido à evaporação ou à incorporação ao produto (irrigação ou a água consumida pelos animais). A água cinza é uma estimativa da quantidade de água necessária para diluir os poluentes (Hoekstra *et al.*, 2011; Doreau *et al.*, 2012; Ran *et al.*, 2016).

De acordo com Palhares *et al.* (2017), a pegada hídrica de 17 fazendas do Sudeste brasileiro apresentaram uma variação de 1.935 a 9.673 litros de água por quilo de carne produzida, com uma média de 5.814 L/kg de carne. Os resultados demonstram grande variabilidade na pegada hídrica que pode existir de fazenda para fazenda, onde a água verde representou cerca de 84,5% do total e a água azul 15,4%. A água cinza não foi considerada no estudo de Palhares *et al.* (2017). As médias globais para pegada hídrica da carne são ainda mais elevadas, variando de 15.415 a 15.497 litros de água por quilo de carne produzida, levando em consideração as estimativas de água verde, azul e cinza (Mekonnen e Hoekstra 2012; Ran *et al.*, 2016).

Apesar de grande variação entre os estudos que avaliaram a pegada hídrica da carne, estas estimativas confirmam a importância de buscar a gestão dos recursos hídricos na produção de carne bovina. Entretanto, a maioria das pesquisas tem como foco principal a redução da água verde, ou seja, a água proveniente das chuvas que é utilizada pelas plantas (Ran *et al.*, 2016; Palhares *et al.*, 2017). Já a água azul tem sido pouco trabalhada em estudos que buscam a redução da pegada hídrica da carne.

Apesar de apresentarem uma menor parte do total da água incorporada ao produto final, a água azul é a que apresenta o maior risco em relação a escassez hídrica, pois grande parte dela não retorna ao seu local de origem (Beckett e Oltjen, 1993; Hoekstra *et al.*, 2011).

Desta maneira, a utilização das características de consumo hídrico residual (CHR_{GMD} , CHR_{CMS}) como critérios de seleção em programas de melhoramento poderiam reduzir a quantidade de água azul (água de dessedentação) utilizadas na produção de carne. Outro ponto interessante é que devido a correlação genética positiva entre a eficiência hídrica (CHR_{GMD} e CHR_{CMS}) e a eficiência alimentar (CAR), não só reduziria a quantidade de água azul utilizada, mas de maneira indireta reduziria ainda a água verde, selecionando através da eficiência hídrica os animais que também são mais eficientes em relação ao alimento. Este fator reduziria a quantidade de alimento consumida, diminuindo assim tanto a quantidade de água azul quanto a quantidade de água verde utilizada para produção de um quilo de carne.

Em conclusão, tem-se que o melhoramento genético para eficiência hídrica em bovinos da raça Senepol pode ser alcançado através da seleção. As medidas de consumo hídrico residual (calculado utilizando o ganho médio diário ou o consumo de matéria seca), a conversão hídrica e a eficiência hídrica são possíveis para caracterizar a eficiência hídrica em bovinos. O uso das características de consumo hídrico residual podem ter efeito positivo sobre a eficiência alimentar, porém podem ter efeito negativo sobre o desempenho, que podem ser corrigidos através da utilização de índices de seleção. O consumo hídrico pode ser utilizado em futuras pesquisas para estimação do consumo alimentar, sendo viável em sistemas de produção extensivos.

Agradecimentos

À Associação Brasileira de Criadores de Senepol e ao Programa Geneplus Embrapa pelo fornecimento do arquivo de pedigree Senepol utilizado neste estudo. À Fazenda Grama (Pirajuí, SP) e à Intergado® (Intergado® Ltda., Contagem, MG) pelo monitoramento, coleta e disponibilização dos dados. À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Gado de Corte) por contribuírem com a formação do Gabriel M. Pereira. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida ao primeiro autor deste trabalho.

Referências

- Ahlberg CM 2018. Characterization of Water Intake in Beef Cattle: Test Length Guidelines, Water Intake Prediction, and Genetic Parameters. PhD thesis, Kansas State University, Manhattan, Kansas, USA.
- Ahlberg CM, Allwardt K, Broocks A, Bruno K, Taylor A, McPhillips L, Krehbiel CR, Calvo-Lorenzo M, Richards CJ, Place SE, DeSilva U, VanOverbeke DL, Mateescu RG, Kuehn LA, Weaber R, Bormann J and Rolf MM 2018. Test duration for water intake, average daily gain, and dry matter intake in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 96, 3043-3054.
- Arthur PF, Archer JA, Johnson DJ, Herd RM, Richardson EC and Parnell PF 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake feed efficiency and other postweaning traits in Angus cattle. *Journal of Animal Science*, 79, 2805-2811.
- Bachmanov AA, Reed DR, Beauchamp GK and Todoff MG 2002. Food intake, water intake, and drinking spout side preference of 28 mouse strains. *Behavior Genetics*, 32, 435-443.

- 595 Beatty DT, Barnes A, Taylor E, Pethick D, McCarthy M, Maloney SK 2006. Physiological
596 responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged continuous heat and
597 humidity. *Journal of Animal Science*, 84, 972-985.
- 598 Beckett JL and Oltjen JW 1993. Estimation of the water requirement for beef production in the
599 United States. *Journal of Animal Science*, 84, 3415-3420.
- 600 Brew MN, Myer RO, Hersom MJ, Carter JN, Elzo MA, Hansen GR and Riley DG 2011. Water
601 intake and factors affecting water intake of growing beef cattle. *Livestock Science*, 140,
602 297-300.
- 603 Chizzotti ML, Machado FS, Valente EEL, Pereira LGR, Campos MM, Tomich TR, Coelho SG,
604 and Ribas MN 2015. Technical note: Validation of a system for monitoring individual
605 feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98,
606 3438–3442.
- 607 Climate-Data.Org 2017. Clima: Pirajuí. Disponível em < [https://pt.climate-data.org/america-do-](https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo-200/pirajui-34930/)
608 [sul/brasil/sao-paulo-200/pirajui-34930/](https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo-200/pirajui-34930/)> Acesso em 11 Novembro 2019.
- 609 Demment MW and Van Soest RJ 1985. A nutritional explanation for body-size patterns of
610 ruminant and nonruminant herbivores. *The American Naturalist*, 125, 641-672.
- 611 Doreau M, Corson MS and Wiedemann SG 2012. Water use by livestock: A global perspective
612 for a regional issue? *Animal Frontiers*. 2, 9-16.
- 613 Flori L, Gonzatti MI, Thevenon S, Chantal I, Pinto J, Berthier D, Aso PM and Gautier M 2012.
614 A quasi-exclusive European ancestry in the Senepol tropical cattle breed highlights the
615 importance of the slick locus in tropical adaptation. *Plos One* 7, e36133.
- 616 Fischer A and Faverdin P 2016. Rumen temperature monitoring to assess feed efficiency of
617 dairy cows. 67. Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP),
618 Aug 2016, Belfast, United Kingdom. Wageningen Academic Publishers, 22, 2016,
619 Annual Meeting of the European Association for Animal Production.

- 620 Geweke J 1992. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to calculating
 621 posterior moments. In: Bernardo JM, Berger JO, Dawid AP and Smith AFM (Ed.).
 622 Bayesian statistics 4. New York: Oxford University, 1992. p. 625-631.
- 623 Hicks RB, Owens FN, Gill DR, Martin JJ and Strasia CA 1988. Water intake by feedlot steers,
 624 208. Oklahoma Animal Science Report, 125, Animal Science Department, Oklahoma
 625 State University, Stillwater, p. 208.
- 626 Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM and Mekonnen MM 2011. The Water Footprint
 627 Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, London, UK.
- 628 Mekonnen MM and Hoekstra AY 2012. A global assessment of the water footprint of farm
 629 animal products. *Ecosystems*, 15, 401-415.
- 630 Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T and Lee DH 2002. BLUPF90 and related
 631 programs (BGF90), in: Proceedings of 7th World Congress of Genetics Applied for
 632 Livestock Production, Montpellier, France, Communication 28-07.
- 633 Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS and Bernabucci U 2010. Effects of climate
 634 changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*,
 635 130, 57-69.
- 636 NRC 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle, update 2000. National Academy Press,
 637 Washington D.C., USA.
- 638 Oliveira Junior BR, Ribas MN, Machado FS, Lima JAM, Cavalcanti LFL, Chizzotti ML and
 639 Coelho SG 2017. Validation of a system for monitoring individual feeding and drinking
 640 behaviour and intake in young cattle. *Animal* 12, 634-639.
- 641 Palhares JCP, Morelli M and Costa Jr C 2017. Impact of roughage-concentrate ratio on the
 642 water footprints of beef feedlots. *Agricultural Systems*, 155, 126-135.
- 643 Phillips GD 1960. The relationship between water and food intakes of European and Zebu type
 644 steers. *Journal of Agricultural Science*, 54, 231-234.
- 645 Plummer M, Best N, Cowles K and Vines K 2006. CODA: Convergence Diagnosis and Output
 646 Analysis for MCMC, *R News*, 6, 7–11.

- 647 Ramirez I and Fuller JL 1976. Genetic influence on water and sweetened water consumption
648 in mice. *Physiology and Behavior*, 16, 163-168.
- 649 Ran Y, Lannerstad M, Herrero M, Van Middelaar CE and De Boer IJM 2016. Assessing water
650 resource use in livestock production: a review of methods. *Livestock Science*. 187, 68-
651 79.
- 652 Rosa ANR, Menezes GRO and Egito AA 2013. Recursos genéticos e estratégias de
653 melhoramento, in: Rosa AN, Martins EN, Menezes GRO and Silva LOC (Eds.),
654 Melhoramento genético aplicado em gado de corte: Programa Geneplus-Embrapa,
655 primeira ed. Embrapa, Brasília, DF, p. 11-26.
- 656 Thornton PK, Van De Steeg J, Notenbaert A and Herrero M 2009. The impacts of climate
657 change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we
658 know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101, 113-127.
- 659 Winchester CF and Morris MJ 1956. Water intake rates of cattle. *Journal Animal of Science*,
660 15, 722-740.
- 661

662 **Tabela 1** *Edição dos testes de desempenho de bovinos Senepol*

Edição	Sexo	n	Data Início	Data Final
Teste 1	Fêmea	144	10/11/2014	02/02/2015
Teste 2	Fêmea	213	22/06/2015	04/09/2015
Teste 3	Fêmea	156	29/11/2015	19/02/2016
Teste 4	Fêmea	155	25/06/2016	01/09/2016
Teste 5	Fêmea	106	07/12/2016	14/02/2017
Teste 6	Fêmea	109	27/07/2017	30/09/2017
Teste 7	Macho	90	25/11/2017	18/02/2018
Teste 8	Fêmea	189	21/11/2018	18/02/2019
Teste 9	Macho	119	21/11/2018	18/02/2019

664 **Tabela 2** Estatística descritiva das características de consumo e eficiência no uso da água e
 665 de desempenho utilizadas para estimação de componentes de variância em bovinos Senepol

Característica ¹	Fêmeas			Machos		
	N	Média	DP	N	Média	DP
CH (l)	925	24,80	4,05	191	37,11	4,75
CHR _{GMD} (l)	925	0,00	2,99	191	0,00	3,74
CHR _{CMS} (l)	925	0,00	2,82	191	0,00	3,55
CONVH (l)	925	32,35	9,68	191	33,86	10,41
EH (kg)	925	0,03	0,01	191	0,03	0,01
CMS (kg)	925	7,60	1,16	191	9,96	2,08
GMD (kg)	925	0,82	0,22	191	1,17	0,30
CAR (kg)	925	0,00	0,73	191	0,00	0,76
CA (kg)	925	9,96	3,12	191	8,96	2,65
EA (kg)	925	0,11	0,03	191	0,12	0,03
PM (kg ^{0,75})	925	92,25	9,59	191	108,42	11,33
PI (kg)	925	388,12	56,48	191	473,04	67,55
PF (kg)	925	447,60	59,74	191	563,37	78,63

666 ¹ CH (Consumo de Água Diário Individual Médio); CHR_{GMD} (Consumo Hídrico Residual
 667 estimado utilizando o GMD); CHR_{CMS} (Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o CMS);
 668 CONVH (Conversão Hídrica); EH (Eficiência Hídrica); CMS (Consumo de Matéria Seca Diário
 669 Individual Médio); GMD (Ganho de Peso Diário Médio); CAR (Consumo Alimentar Residual);
 670 CA (Conversão Alimentar); EA (Eficiência Alimentar); PM (Peso Corporal Metabólico Médio);
 671 PI (Peso no Início do Teste); PF (Peso no Final do Teste).

Tabela 3 Estimativas de *variância fenotípica* (σ_p^2), *herdabilidade* (h^2) e *desvio-padrão* (DP) das características de consumo e eficiência no uso da água e de desempenho analisadas em bovinos Senepol

Característica ¹	σ_p^2	h^2	DP	HPD _I *	HPD _S *
CH	14,742 ²	0,38 ²	0,10 ³	0,20	0,56
CHR _{GMD}	9,997	0,36	0,10	0,16	0,51
CHR _{CMS}	8,908	0,33	0,10	0,13	0,47
CONVH	61,899	0,09	0,06	0,00	0,11
EH	0,001	0,09	0,06	0,00	0,12
CMS	0,771	0,23	0,09	0,12	0,45
GMD	0,040	0,10	0,06	0,00	0,19
CAR	0,490	0,12	0,07	0,00	0,21
CA	5,263	0,07	0,05	0,00	0,09
EA	0,001	0,08	0,05	0,00	0,10
PM	59,492	0,41	0,10	0,22	0,59

*HPD_I - Limite inferior aos 95%; HPD_S – Limite superior aos 95%.

¹ CH (Consumo de Água Diário Individual Médio); CHR_{GMD} (Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o GMD); CHR_{CMS} (Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o CMS); CONVH (Conversão Hídrica); EH (Eficiência Hídrica); CMS (Consumo de Matéria Seca Diário Individual Médio); GMD (Ganho de Peso Diário Médio); CAR (Consumo Alimentar Residual); CA (Conversão Alimentar); EA (Eficiência Alimentar); PM (Peso Corporal Metabólico Médio).

² Relatada como a média de todas as estimativas de herdabilidade das análises bivariadas.

³ Relatado como o maior DP de todas as estimativas de herdabilidade das análises bivariadas.

Tabela 4 Estimativas de correlações genéticas e desvios padrão (acima da diagonal) e correlações fenotípicas e desvios padrão (abaixo da diagonal) entre as características de consumo e eficiência no uso da água analisadas em bovinos Senepol

Característica ¹	CH	CHR _{GMD}	CHR _{CMS}	CONVH	EH
CH		0,86 ± 0,06	0,83 ± 0,08	0,57 ± 0,32	-0,44 ± 0,33
CHR _{GMD}	0,83 ± 0,01		0,98 ± 0,02	0,66 ± 0,28	-0,59 ± 0,26
CHR _{CMS}	0,80 ± 0,01	0,91 ± 0,01		0,71 ± 0,26	-0,59 ± 0,26
CONVH	0,27 ± 0,03	0,52 ± 0,03	0,35 ± 0,03		-0,95 ± 0,12
EH	-0,30 ± 0,03	-0,56 ± 0,02	-0,37 ± 0,03	-0,92 ± 0,01	

¹ CH (Consumo de Água Diário Individual Médio); CHR_{GMD} (Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o GMD); CHR_{CMS} (Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o CMS); CONVH (Conversão Hídrica); EH (Eficiência Hídrica).

Tabela 5 Estimativas de correlações genéticas e desvios padrões e correlações fenotípicas e desvios padrões entre as características de consumo e eficiência no uso da água e características de desempenho analisadas em bovinos Senepol

Característica ¹	CH	CHR _{GMD}	CHR _{CMS}	CONVH	EH
Correlações genéticas					
CMS	0,79 ± 0,12	0,37 ± 0,23	0,32 ± 0,26	-0,02 ± 0,42	0,14 ± 0,39
GMD	0,75 ± 0,20	0,49 ± 0,32	0,44 ± 0,35	-0,27 ± 0,49	0,45 ± 0,34
CAR	0,66 ± 0,20	0,64 ± 0,24	0,51 ± 0,29	0,03 ± 0,50	0,05 ± 0,47
CA	-0,03 ± 0,38	-0,11 ± 0,38	-0,14 ± 0,39	0,69 ± 0,33	-0,69 ± 0,44
EA	0,27 ± 0,36	0,31 ± 0,38	0,40 ± 0,37	-0,53 ± 0,49	0,64 ± 0,29
PM	0,55 ± 0,16	0,02 ± 0,23	0,00 ± 0,24	0,21 ± 0,47	-0,03 ± 0,45
Correlações fenotípicas					
CMS	0,60 ± 0,02	0,26 ± 0,04	0,02 ± 0,04	-0,03 ± 0,04	0,02 ± 0,04
GMD	0,33 ± 0,03	-0,05 ± 0,04	0,11 ± 0,04	-0,75 ± 0,02	0,78 ± 0,01
CAR	0,30 ± 0,03	0,34 ± 0,03	-0,06 ± 0,04	0,19 ± 0,03	-0,21 ± 0,03
CA	-0,02 ± 0,04	0,18 ± 0,04	-0,11 ± 0,04	0,86 ± 0,01	-0,79 ± 0,01
EA	0,03 ± 0,04	-0,17 ± 0,04	0,14 ± 0,04	-0,80 ± 0,01	0,83 ± 0,01
PM	0,55 ± 0,03	0,05 ± 0,04	0,05 ± 0,04	0,06 ± 0,04	-0,06 ± 0,03

¹ CH (Consumo de Água Diário Individual Médio); CHR_{GMD} (Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o GMD); CHR_{CMS} (Consumo Hídrico Residual estimado utilizando o CMS); CONVH (Conversão Hídrica); EH (Eficiência Hídrica); CMS (Consumo de Matéria Seca Diário Individual Médio); GMD (Ganho de Peso Diário Médio); CAR (Consumo Alimentar Residual); CA (Conversão Alimentar); EA (Eficiência Alimentar); PM (Peso Corporal Metabólico Médio).